

В. А. МЕЗЕНЦЕВ

Электрический глаз

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

В. А. МЕЗЕНЦЕВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЛАЗ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Члена-корреспондента Академии наук СССР
И. В. ОБРЕИМОВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

16-2-1

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *В. Т. Хозяинов.* Техн. редактор *С. Н. Ахламов*

Подписано к печати 16/VI 1950 г. Бумага 84×108/32. 0,875 бум. л.
2,87 печ. л. 3,01 уч.-изд. л. 41 899 тип. зн. в печ. л. Т-05106.
Тираж 150 000 экз. Цена книги 90 коп. Заказ № 2445.

3-я типография «Красный пролетарий» Главполиграфиздата при Совете Министров СССР, Москва, Краснопролетарская, 16.



ВВЕДЕНИЕ

Каждый из нас бывал в кино. Ещё совсем недавно, 20—25 лет назад, его называли «Великим немым». В кинотеатре показывали лишь живые картины с пояснительными надписями. Но вот «Великий немой» заговорил: в кино зазвучали самые различные звуки — шум битвы и шорох ветвей, разговор и песня.

Какой же аппарат озвучил немое кино?

Посмотрите на рисунок 1. Вы видите совсем небольшой и очень простой с виду прибор. Это — маленькая электрическая машина. Она называется ф о т о э л е м е н т о м.

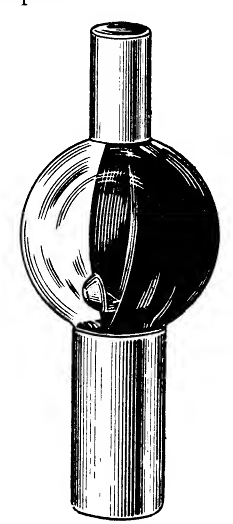


Рис. 1. Внешний вид современного фотоэлемента.

Лишь с изобретением этого прибора стало возможным озвучить немое кино. Он является одной из основных частей звукового киноаппарата.

Не только в кино применяется фотоэлемент. Он используется в современной жизни очень широко, а возможности применения фотоэлемента просто неограниченны.

Передача изображений по телеграфным проводам и с помощью радиоволн, автоматические включения и выключения различных машин и приборов, контроль качества изделий, точнейшие

световые измерения — всё это осуществляется при помощи фотоэлементов.

Электрический ток в фотоэлементе возникает под действием света. Этот прибор работает лишь тогда, когда на него падает свет. Поэтому фотоэлемент часто называют «электрическим глазом». «Электрический глаз» безошибочно считает, бракует, предупреждает несчастные случаи, верно несёт пожарную и сторожевую службу. Более того, «электрический глаз» прекрасно «видит» в темноте на расстоянии в сотни метров в тех случаях, когда человек не разбирает очертаний предметов и в двух шагах!

Как устроен замечательный прибор — фотоэлемент, каким образом в нём рождается электрический ток, каковы разновидности «электрических глаз», где и как они применяются в жизни — обо всём этом и рассказывается в нашей книжке.

I. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, РОЖДЁННОЕ СВЕТОМ

1. ОПЫТЫ ВЕЛИКОГО РУССКОГО ФИЗИКА

В конце прошлого века, в 1888 году, профессор физики Московского университета Александр Григорьевич Столетов проводил очень интересные опыты. Он наблюдал рождение электрического тока под действием света!

Вот как ставились эти опыты.

Два небольших диска — сплошная металлическая пластинка и тонкая металлическая сетка — закреплялись вертикально друг против друга. Диски соединялись между собой проволокой, которая, в свою очередь, была последовательно соединена с электрической батареей и чувствительным прибором для измерения слабых электрических токов — гальванометром (рис. 2). Таким образом, получалась так называемая электрическая цепь, состоящая из 1-го диска, электрической батареи, гальванометра, 2-го диска и соединяющих их проволок. Так как эта цепь была разомкнута — между дисками находился воздушный промежуток, — то естественно, что электрического тока в ней не наблюдалось, хотя в цепь и была включена электрическая батарея. Но вот странное

дело: стоило лишь направить на металлическую пластинку сильный свет от электрической дуги, как гальванометр тотчас отмечал появление в цепи электрического тока!



А. Г. Столетов (родился в 1839 г., умер в 1896 г.).

В чём тут было дело?

Выходило, что свет как бы переносил электрические заряды с диска на диск — с пластинки на сетку.

Столетов брал для своих опытов диски из самых различных металлов: алюминиевые, медные, цинковые, серебряные, никелевые; и во всех случаях он наблюдал, как под действием света от электрической дуги в цепи его опытной установки возникал электрический ток... если только освещаемая металлическая пластинка была соединена с отрицательным полюсом батареи.

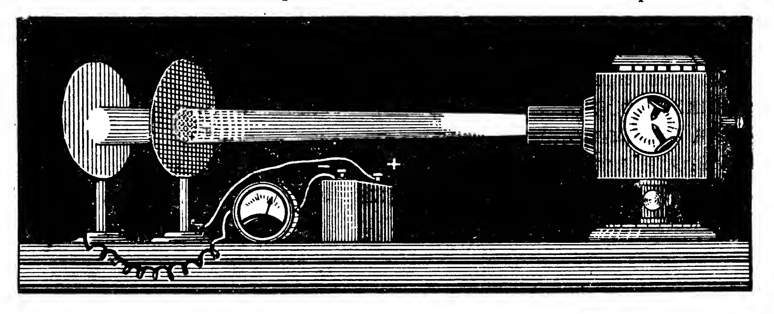


Рис. 2. Опыт А. Г Столетова (следует иметь в виду, что все приборы изображены на рисунке условно, схематически).

Если же поменять местами полюсы батареи, т. е. пластинку соединить с положительным полюсом батареи,

а сетку — с отрицательным, ток в цепи не появляется, из какого бы металла не были сделаны диски.

Заинтересованный этим необычным физическим явлением, Столетов ставит всё новые и новые опыты.

Он устанавливает, что действие света на диски практически мгновенно: достаточно осветить пластинку на $\frac{1}{150}$ долю секунды, как гальванометр уже отмечает возникший электрический ток.

Он пробует освещать диски светом от различных источников: светом электрической дуги, бензиновой горелки, светом солнца. И приходит к выводу, что лучше всего действуют лучи электрической дуги.

Наконец, Столетов проводит ещё более интересный опыт. Он удаляет из своей установки электрическую батарею и освещает совершенно незаряженные пластинки.

И в этом случае в цепи возникает электрический ток!

Сплошная металлическая пластинка заряжается при этом положительным электричеством.

Свет рождал электричество!

Это явление, впервые подробно изученное великим русским учёным А. Г. Столетовым, было названо фотоэлектрическим эффектом (латинское слово «эффект» означает «влияние», «действие», а «фотос» по-гречески — «свет»).

Фотоэлектрический эффект — действие света на электрические заряды тел — и лежит в основе того замечательного прибора — фотоэлемента, о котором рассказывается в нашей книжке.

В чём причина фотоэлектрического эффекта? Почему и каким образом в электрической цепи возникает ток, когда на металлическую пластинку падает луч света?

Чтобы хорошо всё это понять, вспомним, что̀ происходит, когда тела наэлектризовываются.

2. ЧТО ПРОИСХОДИТ ПРИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ?

Вы знаете, конечно, что все окружающие нас тела состоят из мельчайших невидимых частиц — атомов. Число различных видов этих частиц невелико. Но они могут соединяться друг с другом в самых разнообразных комбинациях, образуя устойчивые группы — моле-

кулы. Этим и объясняется то, что из небольшого количества различных видов атомов построен необычайно разнообразный мир окружающих нас тел.

Размеры отдельных атомов необычайно малы — они не превышают нескольких стомиллионных долей сантиметра. Понятно поэтому, что число частиц — атомов или молекул — в каждом куске вещества, с которым нам обычно приходится иметь дело, чрезвычайно велико. Вот, например, сколько молекул содержится в одной капле воды, считая по 20 капель в кубическом сантиметре:

1 600 000 000 000 000 000 000.

Это — тысяча шестьсот миллиардов раз по миллиарду частиц!

Судите сами, насколько мала масса каждой отдельной молекулы, каждого отдельного атома.

Несмотря на такие ничтожно малые размеры атомов и молекул, теперь об этих невидимых частичках известно очень многое. Учёные нашли, чему равна их масса, т. е. сумели определить вес отдельных атомов, подробно изучили многие свойства различных атомов и молекул.

А за последние пятьдесят лет физики установили, что атомы — это сложно устроенные миры.

Вот как построен атом. В центре атома находится электрически положительно заряженное ядро. Размеры этого ядра примерно в 100 000 раз меньше размеров самого атома. Величина заряда и масса атомного ядра различны у различных атомов. Вокруг ядра вращаются отрицательно заряженные электрические частички — электроны. Они образуют так называемую электронную оболочку атома. Электроны представляют собой своего рода «атомы отрицательного электричества»: эти мельчайшие частички вещества несут с собой мельчайший отрицательный электрический заряд. Заряды всех электронов одинаковы.

Число электронов у различных атомов также различно. Например, в атоме водорода имеется только один электрон, в атоме гелия — два, кислорода — восемь и т. д.

Суммарный заряд электронов равен заряду ядра. Таким образом, любой атом в нормальном своём состоянии электрически нейтрален — заряды противоположных знаков нейтрализуют друг друга.

Мы не будем в этой книжке говорить о том, как устроено атомное ядро и какие силы связывают ядро атома и его оболочку. Об этом подробно рассказывается в других книжках *). Чтобы понять сущность фотоэлектрического явления, нам достаточно и этих кратких сведений об атоме.

А теперь, вспомнив, как устроен атом, нетрудно разобраться и в том, как осуществляется электризация тел.

При электризации тел всегда производится разделение положительного и отрицательного зарядов. Как это может происходить? Очевидно, что для этого необходимо из электронных оболочек атомов одного тела «изъять» каким-либо путём по одному или по несколько электронов и «пересадить» эти электроны в электронные оболочки атомов другого тела.

Что получится в этом случае? Атомы, у которых будут «изъяты» один или несколько электронов, уже не будут нейтральными. Положительный заряд их ядра будет больше, чем общий отрицательный заряд электронной оболочки. Стало быть и атом в целом будет положительно заряженным. Такая частица называется *положительным ионом*. И вот, если число положительных ионов в теле достаточно велико, то и всё тело в целом будет заряженным положительно.

И напротив, атомы с лишними, «чужими» электронами имеют отрицательный заряд. Они называются *отрицательными ионами*. Когда таких отрицательных ионов в теле много, оно в целом заряжено отрицательно.

«Изъятые» электроны могут остаться в теле и в «свободном» состоянии; в этом случае они не будут связаны с какими-либо определёнными атомами.

Таким образом, электризация тела всегда сводится к тому, что часть нейтральных атомов превращается в заряженные частицы — ионы.

Для этого, конечно, необходимо затратить какую-то работу. Ведь электроны, входящие в состав атома, удерживаются в нём электрическими силами. Поэтому, чтобы вырвать из электронной оболочки атома хотя бы один

---

*) См., например, брошюру «Научно-популярной библиотеки», Г. А. Зисман «Мир атома».

электрон, т. е., чтобы, как говорят, *ионизовать* этот атом, надо преодолеть связывающие атом электрические силы. А это можно сделать, только затратив определённое количество энергии, т. е. совершив работу. Эта работа называется «*работой ионизации*» атома. Она может быть осуществлена, например, за счёт тепловой энергии, иными словами — путём нагрева тела до высокой температуры. Можно ионизовать атомы и за счёт энергии света.

Итак, что же мы узнали? Во-первых, то, что атомы, а значит, и молекулы всех веществ построены из электрически заряженных частиц. И, во-вторых, если какое-либо тело приобретает электрический заряд, то это всегда означает, что атомы этого тела либо потеряли часть своих электронов, либо, наоборот, приобрели некоторое количество лишних электронов. Эти лишние электроны либо присоединились к его атомам, образовав отрицательные ионы, либо остались в теле в свободном состоянии, не будучи связанными с какими-либо определёнными атомами.

Здесь же надо сказать и о том, что «свободные», несвязанные электроны всегда имеются в некоторых материалах и без какой-либо электризации. К таким веществам, в частности, относятся все металлы. В любом куске металла всегда имеется значительное количество электронов, оторванных от своих ядер в результате взаимодействия между отдельными атомами. Такие «свободные» электроны принадлежат уже не какому-то одному атому, а куску металла в целом. Такие электроны могут свободно «путешествовать» по всему куску металла.

Этим и объясняется хорошая электропроводность металлов — ведь электрический ток в металлах и есть движение таких «свободных» электронов от отрицательного электрода к положительному под действием электрических сил.

Испариться из куска металла, вылететь в окружающее пространство «свободные» электроны не могут; этому мешают силы, действующие на поверхности твёрдых тел. Чтобы вырвать из металла свободный электрон наружу, нужно, как и в случае ионизации атомов, затратить некоторую работу. Эту работу называют «работой

выхода». Величина «работы выхода» меньше величины «работы ионизации» отдельного атома.

Теперь, зная в чём заключается сущность электризации тел, вы уже без труда можете понять, что̀ именно происходит при фотоэлектрическом эффекте.

3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Вспомните опыты А. Г. Столетова. Как только учёный освещал лучом света отрицательно заряженную металлическую пластинку, в цепи возникал электрический ток. Свет как бы «выбивал» отрицательный электрический заряд с пластинки и переносил его на сетку.

Что это может означать? Только одно — очевидно, что световые лучи способны «выбивать» из металла и выбрасывать в окружающее пространство те избыточные электрические заряженные частички, благодаря которым тело и проявляет себя, как электрически заряженное.

Нетрудно сообразить, какие именно частицы выбиваются светом из тела. Это — отрицательно заряженные частицы — электроны.

Значит, вот в чём сущность фотоэлектрического эффекта. Она заключается в том, что под влиянием света из тела вырываются электроны! Другими словами, свет способен совершать ту «работу выхода», которая необходима для вылета «свободных» электронов из вещества наружу.

А вылетающие в пространство электроны — ведь это и есть не что иное, как электрический ток!

Вот почему в цепи установки Столетова и возникал электрический ток всякий раз, как на пластинку, соединённую с отрицательным полюсом батареи, падал луч света. В этом случае электрическая цепь установки замыкалась: в воздушном или безвоздушном (Столетов проводил опыты и с откачиванием воздуха) пространстве между дисками возникал ток.

Такова сущность фотоэффекта.

Каковы же законы этого замечательного явления?

Вспомним прежде всего о том, что для получения фотоэлектрического тока необходимо осветить «под-

ходящими» лучами какое-либо тело, причём это тело может быть как твёрдым, так и жидким или газообразным.

Но что значит «подходящие» лучи? Какие вообще бывают лучи? Разберёмся в этом.

Известно, что свет, идущий, например, от солнца или от электрической лампы, является сложным. В состав его входят так называемые «простые» или одноцветные лучи разного рода. Вспомните, например, радугу: в ней вы видите как раз все лучи, составляющие сложный белый свет. Все эти видимые лучи по-разному действуют на наш глаз. Одни из них создают ощущение синего цвета, другие — зелёного, третьи — красного и т. д. Смешиваясь в определённых соотношениях, эти лучи и дают белый свет. Можно смешать их и в других соотношениях; тогда свет будет казаться нам оранжевым, голубым и т. п.

Помимо этих видимых световых лучей, известно также много лучей невидимых; они не создают в нашем глазу ощущения света, но зато могут быть обнаружены по другим своим действиям. К таким лучам относятся: ультрафиолетовые лучи — они сильно действуют на фотографическую пластинку и дают «загар» кожи; инфракрасные лучи, которых много в излучении солнца и ламп; это тепловые лучи, они вызывают нагревание различных предметов при освещении; рентгеновы лучи, которыми врачи «просвечивают» наше тело, а инженеры — различные непрозрачные материалы. К невидимым лучам относятся и радиоволны.

Все эти лучи, как видимые, так и невидимые, хотя и сильно отличаются друг от друга, имеют одну и ту же природу. Все они представляют собой так называемые электромагнитные волны, распространяющиеся с огромной скоростью (300 000 километров в секунду) в пространстве *).

Различные лучи отличаются друг от друга лишь длиной волны. Так, например, видимые красные лучи имеют длину волны около 6—7, а синие — около 4 стотысячных долей сантиметра. Длина волны ультрафиолетовых лучей ещё меньше. Инфракрасные лучи соответ-

*) Подробнее о свете см. книжку «Научно-популярной библиотеки»: С. Г. Суворов «О чём говорит луч света».

ствуют волнам с длиной от 8 стотысячных до примерно одной сотой доли сантиметра. А радиоволны имеют длину от нескольких сантиметров до нескольких тысяч метров. На рисунке 3 показано, какую длину волны имеют различные лучи.

Как вы видите из рисунка, резкого перехода от одних лучей к другим не существует. Так, к примеру, самые короткие радиоволны и самые длинные тепловые лучи вообще ничем не отличаются друг от друга. Это — одно и

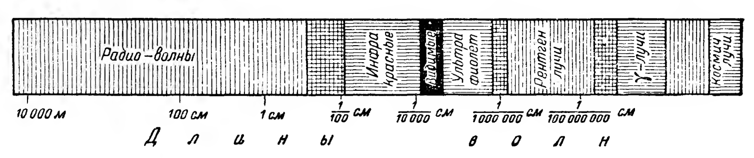


Рис. 3. Разные лучи отличаются друг от друга только длиной волны.

то же. И вообще, можно сказать, что все лучи — видимые и невидимые — составляют одну семью.

Какие же лучи вызывают фотоэлектрический эффект?

Оказывается, для каждого вещества существует определённая длина световой волны, которая является так называемой «длинноволновой» границей фотоэлектрического эффекта. Это значит, что если лучи имеют длину волны больше этой границы, то они не вызовут никакого фотоэлектрического эффекта, не смогут выбить ни одного электрона. Вы можете, например, бросить на цинковую пластинку какое угодно количество лучистой энергии в виде красных или иных видимых лучей и не получите ни одного вырванного электрона, или, как его ещё называют, ф о т о э л е к т р о н а. Напротив, достаточно совсем небольшого количества света, но в виде ультрафиолетовых лучей, чтобы получить целый рой таких электронов. Именно поэтому в опытах Столетова фотоэффект давали лучи электрической дуги, в которых содержится много лучей ультрафиолетовых.

На большинство металлов, — на такие, как золото, платина, никель, да и вообще на большинство веществ, — действуют только ультрафиолетовые лучи. Лишь у таких металлов, как к а л и й, н а т р и й, ц е з и й и некоторые

другие, фотоэлектрический эффект наблюдается и при облучении видимым светом.

Ну, а от чего же ещё, кроме длины волны излучения, зависит число «выбитых» из вещества электронов?

Зависит ли это число от количества падающей на тело световой энергии? Да, зависит.

И эта зависимость вполне определённая. Если какие-либо лучи света выбивают из куска металла электроны, то число таких электронов всегда тем больше, чем больше падает на этот кусок света.

Об этом говорит основной закон фотоэффекта: *число вылетающих электронов всегда строго соответствует количеству падающей на тело световой энергии.*

Многие исследователи проверяли этот закон различными путями. Одни изменяли силу падающего света, не меняя длину волны, и измеряли число электронов, вылетающих за какой-либо определённый промежуток времени, скажем, за одну секунду, другие давали свет постоянной силы, но меняли время его действия и измеряли количество электронов, вылетающих за разные промежутки времени.

При этом сила света и время освещения менялись в очень широких пределах. Например, силу освещения изменяли в пятьдесят миллионов раз! Но во всех случаях был получен один и тот же результат: для света определённой длины волны *на каждую единицу падающей лучистой энергии приходится одно и то же количество вылетающих электронов.*

Уже эти закономерности фотоэффекта было очень трудно объяснить первое время, и вот почему. Как мы уже сказали, свет представляет собой поток электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве. Это было доказано ещё в XIX веке рядом неопровержимых опытов.

Однако объяснить с этой точки зрения, почему световые лучи с различной длиной волны по-разному действуют на различные вещества, очень трудно.

Мало того. Ещё бо̀льшие загадки и совершенно необъяснимые противоречия появились перед физиками тогда, когда они стали изучать вопрос о скоростях фотоэлектро-

нов, т. е. о том запасе энергии, который приобретает под действием света каждый электрон в отдельности. Здесь прежде всего был установлен следующий поразительный факт. Хотя число вырываемых электронов зависит от силы света, энергия каждого отдельного вырываемого электрона от силы света не зависит, а зависит только от длины волны.

Будем ли мы освещать тело светом очень сильным или ничтожно слабым, вылетевшие из тела электроны будут иметь одну и ту же скорость, а, значит, одну и ту же энергию.

Как понять этот факт, если мы считаем свет волной? Ведь с волновой точки зрения увеличение силы света означает, что энергия, которую переносит в данном месте волна, т. е. размах (амплитуда) колебаний световой волны, стала больше.

Почему же в таком случае электрон, вырываемый в этом месте волной, всегда имеет одну и ту же энергию, независимо от силы света?

«Это подобно тому, — писал по этому поводу один известный физик, — как если бы морские волны, ударяющиеся о берег, удвоив свою высоту, оказались только в состоянии разбросать больше гальки, чем прежде, но не могли заставить каждый камешек покинуть своё место более охотно и отбросить его на большее расстояние, чем первоначальные малые волны, которые лишь слегка омывали эти камешки».

А когда стали исследовать зависимость энергии, с которой вылетают из вещества электроны, от длины волны падающего на вещество света, то обнаружили и ещё один факт, совершенно необъяснимый с точки зрения волновой теории света: оказалось, что с уменьшением длины волны эта энергия, а значит и скорость электронов, возрастает!

Как можно объяснить все эти загадочные закономерности фотоэффекта?

Ответ даёт так называемая квантовая теория света.

Вместе с тем она очень просто объясняет и вопрос, который, вероятно, уже возник у читателя — каким именно образом свет выбивает из различных тел электроны.

4. «БОМБАРДИРОВКА» СВЕТОМ

Что такое свет? Какова его природа?

Этот вопрос очень труден. Долгое время он оставался для учёных загадкой.

В XIX веке свет считался потоком электромагнитных волн, и только. Однако целый ряд явлений, связанных с поглощением и излучением света, в том числе и явление фотоэффекта, уже в самом начале XX века заставил физиков отказаться от такого взгляда на природу света. Дело в том, что в этих явлениях свет ведёт себя не как волна, а как поток отдельных мельчайших частичек.

Однако в других случаях свет ясно показывает свои волновые свойства.

Что же получается?

Выходит, что наше представление о свете, как только о волнах, недостаточно: оно не отражает всех свойств света.

Теперь установлено, что природа света значительно более сложна, чем, скажем, природа морских волн или потока дробинок, вылетающих из ружья.

Свет — это действительно электромагнитные волны, но испускание и поглощение света происходят не непрерывно, а отдельными порциями. Эти порции носят название квантов.

Каждый атом вещества может поглотить только целое число квантов световой энергии, т. е. один, два и т. д., но никак не половину или, скажем, полтора кванта.

Величина энергии каждого кванта не одинакова. Она зависит от длины волны. Чем длиннее волна, тем меньше энергия кванта. Таким образом, квант красного излучения, например, несёт меньшую энергию, чем квант синего света. Но энергия как тех, так и других квантов, да и вообще любых квантов видимого света, чрезвычайно мала.

Квантовая теория очень просто объясняет фотоэлектрический эффект и его закономерности.

Понятна зависимость выхода фотоэлектронов от длины волны. Ведь чем меньше длина волны, тем больше энергия квантов этого света и, следовательно, тем скорее эти кванты вырвут электроны.

Таким образом, свет как бы «бомбардирует» различные тела. Такая «бомбардировка» поверхности вещества светом различной длины волны напоминает (но только напоминает) стрельбу из охотничьих ружей. Действительно, каждый охотник знает, что на мелкую дичь употребляют самую мелкую дробь — «бекасинник». На уток и гусей идёт дробь покрупнее. А на крупную дичь — на козлов, кабанов и медведей — необходима либо пуля, либо очень крупная дробина. Если вы будете стрелять по медведю бекасинником, из этого ничего хорошего не выйдет — медведь убит не будет; каждая дробинка в отдельности не сможет пробить его толстой шкуры. Мелкая дробь в этом случае, как и кванты малых размеров (малые порции энергии) не достигнет цели. Но будет достаточно лишь одной пули, несущей большой запас энергии, чтобы медведь был убит.

Так и при «бомбардировке» светом. Если энергии каждого отдельного кванта недостаточно для того, чтобы совершить «работу выхода», необходимую для вырывания фотоэлектрона из тела, то фотоэффект вообще не будет иметь места, сколько бы света ни падало на тело. Вот почему и не наблюдается фотоэлектрический эффект даже при освещении сильным светом, если только длина волны этого света настолько велика, что соответствующая порция энергии (квант) меньше «работы выхода». Если же квант достаточно «энергичен», чтобы при благоприятных условиях вырвать из тела электрон, то ясно, что чем больше квантов будет падать на тело, тем больше будет вырвано электронов, т. е. тем сильнее будет фотоэлектрический ток в пространстве вокруг этого тела.

Так же просто объясняются, с квантовой точки зрения, и другие закономерности фотоэффекта.

Действительно, поскольку определённая частица вещества может поглощать только целый квант, то для неё не имеет значения, сколько вообще квантов падает на тело. Для каждой частицы существенно другое — а именно, величина энергии поглощаемого ею кванта. Процесс, происходящий в каждом атоме, не зависит от количества квантов, то-есть от общей падающей энергии, а определяется только энергией каждого отдельного кванта. Поглощённый атомом квант световой энергии увеличивает запас энергии электрона. При этом часть энергии кванта

тратится на работу вырывания электрона из тела, а остаток энергии передаётся вылетевшему электрону. Понятно, что этот остаток будет тем больше, чем больше была энергия поглощённого кванта, то-есть чем меньше была длина волны света. Значит, чем больше была энергия поглощённого кванта, тем больше будут и та максимальная энергия и та скорость, которые будет иметь вылетевший электрон.

Таково объяснение фотоэлектрического эффекта.

Изученный А. Г. Столетовым фотоэффект называется внешним нормальным фотоэффектом. Изложенные здесь краткая теория и законы фотоэффекта относятся именно к внешнему нормальному фотоэффекту. Однако кроме этого явления были открыты и другие фотоэлектрические эффекты: 1) внешний селективный (избирательный) фотоэффект и 2) внутренний фотоэффект. Об использовании этих явлений будет рассказано в следующей главе без изложения их теории.

Каким же образом явление фотоэффекта используется в тех приборах, о которых мы говорили в самом начале нашей книжки — в фотоэлементах? Как устроены эти приборы?

Об этом рассказывается в следующей главе.

II. КАК УСТРОЕНЫ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

1. ФОТОЭЛЕМЕНТЫ ВАКУУМНЫЕ И ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ

Итак, свет, падая на различные тела, способен «выбивать» из них электроны, способен рождать электрический ток в пространстве. Нужно лишь для разных тел подбирать лучи с соответствующей длиной волны.

Возникает заманчивая мысль — а нельзя ли каким-либо путём использовать этот фотоэлектрический ток?

Можно!

На использовании этого тока и работают замечательные физические приборы — фотоэлементы.

По существу первый фотоэлемент был построен уже самим Столетовым при его опытах по изучению фотоэффекта.

Посмотрите на рисунок 4. Вы видите здесь маленький стеклянный пузырёк. Воздух из него откачан. Внутрь этого пузырька впаяны две небольшие проволочки, соединённые с двумя металлическими пластинками. Наружные концы этих проволок присоединены к гальванометру. Сбоку пузырька имеется небольшой отросток, закрытый кварцевым окошком, прозрачным и для видимых, и для ультрафиолетовых лучей. Иными словами, перед нами, по существу, та установка Столетова без батареи, с помощью которой он наблюдал возникновение положительного электрического заряда на незаряженной пластинке при её освещении. Вместе с тем, этот прибор является и первым простейшим фотоэлементом.

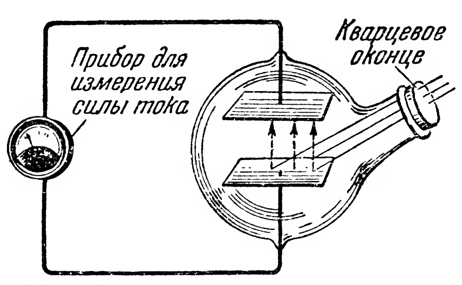


Рис. 4. Схема простейшего фотоэлемента.

Пока лучи не действуют на пластинку, тока в цепи нет. Но достаточно осветить пластинку, как в тот же момент стрелка гальванометра отклонится — в пластинках и в проволочках возникает ток электронов. Этот ток идёт от пластинки, на которую падает свет, через безвоздушное пространство внутри пузырька, к другой пластинке, а оттуда по проволоке, через гальванометр, снова к первой пластинке, т. е. по всей цепи (электрон заряжен отрицательно, а направление тока принято считать совпадающим с направлением движения положительных электрических зарядов, поэтому направление электрического тока в фотоэлементе будет обратным движению фотоэлектронов, то-есть между пластинками фотоэлемента — от анода к катоду, а во внешней цепи — от катода к аноду).

Таким образом, здесь энергия лучей, поглощённых металлической пластинкой, превращается в энергию электрического тока.

Отрицательную пластинку фотоэлемента, на которую падают лучи света, принято называть **катодом**. Вторую пластинку называют **анодом**.

Однако чувствительность к свету этого фотоэлемента очень невелика: при освещении катода в нём возникает слишком слабый электрический ток. Использовать его для каких-либо практических целей ещё нельзя.

Современные фотоэлементы устроены уже иначе, но по сути дела они не отличаются от своего предка. Пришлось лишь немало поработать над тем, чтобы увеличить их чувствительность к свету и сделать их, таким образом, пригодными для практического использования (о применении фотоэлементов рассказывается в III главе).

Теперь изготовляются самые различные типы фотоэлементов. При этом фотоэлементы отличаются друг от друга не только своим устройством. Различные фотоэлементы по-разному «чувствуют» различные световые лучи. В одних фотоэлементах электрический ток возникает только при освещении, скажем, зелёными или жёлтыми лучами. Другие работают в том случае, когда на них падает красный свет (именно в этих фотоэлементах используется избирательный, селективный, фотоэффект). Имеются фотоэлементы, которые «чувствуют» только ультрафиолетовые лучи, и т. д.

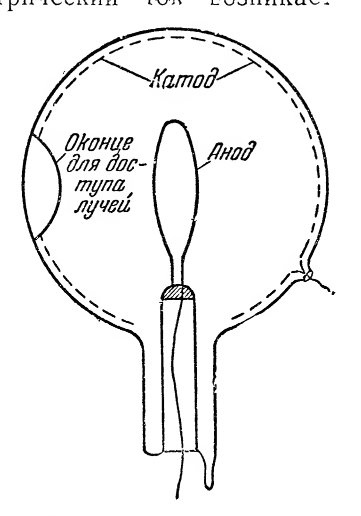


Рис. 5. Схема фотоэлемента с центральным анодом.

Кроме того, современные фотоэлементы делятся на две большие группы: в а к у у м н ы е и г а з о н а п о л н е н н ы е.

Вакуумные — это такие фотоэлементы, у которых воздух из стеклянного пузырька откачан по возможности полностью. Другие фотоэлементы — газонаполненные — заполняют каким-либо инертным газом, который не действует химически на катод, не портит его. Обычно для этой цели применяют газ а р г о н.

Схема устройства современного фотоэлемента показана на рисунке 5. Светочувствительный слой — катод — покрывает почти всю поверхность стеклянного пузырька, за исключением небольшого окошка для до-

ступа света. Анод же имеет вид небольшой проволочной петли или дощечки, укреплённой внутри этого пузырька. Такие фотоэлементы производятся на наших заводах в настоящее время. Внешний вид подобного фотоэлемента вы уже видели в начале книжки, на рисунке 1.

Такая форма фотоэлементов выгодна тем, что в них очень хорошо используется свет: лучи, отражённые от какого-нибудь места катода, обязательно попадут на другое место его, затем на третье и т. д. В итоге в этом случае поглощается и используется почти весь свет, попавший внутрь фотоэлемента.

Как можно увеличить светочувствительность фотоэлемента?

Первый и простейший способ увеличения чувствительности этого прибора — как вакуумного, так и газонаполненного — к свету заключается в том, что в цепь его включают источник электродвижущей силы — батарею с напряжением в несколько десятков, а иногда и в несколько сотен вольт. Отрицательный полюс этой батареи соединяют, как показано на рисунке 6, с катодом фотоэлемента, а положительный полюс — с его анодом. Конечно, и в этом случае в темноте через фотоэлемент ток итти не будет, так как пластинки фотоэлемента разделены безвоздушным пространством или изолирующим слоем газа *). Но если катод фотоэлемента осветить, то с батареей мы получим при том же самом освещении во много раз более сильный ток, чем без батареи.

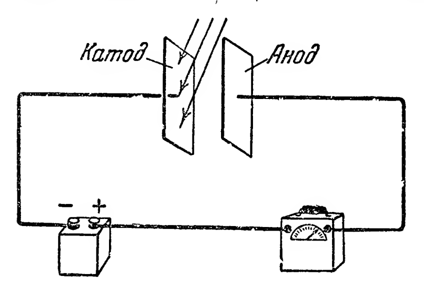


Рис. 6. Схема фотоэлемента с электрической батареей.

Заполнение фотоэлемента газом также значительно повышает его чувствительность. При одном и том же

*) На практике, благодаря тому, что стекло, из которого сделан фотоэлемент, и изоляция между электровводами не являются идеальными изоляторами, а немного проводят ток, через фотоэлемент и в темноте идёт небольшой ток; он называется темновым током фотоэлемента. Одно из важных требований к фотоэлементу — темновой ток его должен быть как можно меньше.

свете мы можем получить от газонаполненного фотоэлемента ток в несколько раз более сильный, чем от вакуумного. Это объясняется тем, что электроны, быстро летящие от катода к аноду, сталкиваются по пути с атомами газа и ионизуют их, т. е. выбивают из них электроны. После такого столкновения вместо одного первоначального электрона получается два электрона: один первоначальный и один новый, выбитый из атома газа. Оба они летят к аноду. На пути они снова сталкиваются с атомами газа и также ионизуют их. Таким образом вместо двух электронов получается уже четыре. Эти четыре электрона, при новых столкновениях, дают восемь электронов, и т. д. Другими словами — число свободных электронов, летящих к аноду, очень быстро нарастает. Понятно, что такое усиление фототока тем значительнее, чем выше напряжение внешней батареи.

Однако при очень высоком напряжении сам газ начинает проводить электрический ток; в результате через фотоэлемент пойдёт сильный ток и без освещения его: поэтому напряжение от внешней батареи нельзя неограниченно увеличивать. Практически газонаполненные фотоэлементы работают при напряжении в 250—300 вольт.

Отсюда, между прочим, следует, что у газонаполненных фотоэлементов сила фототока не точно пропорциональна количеству падающей световой энергии.

Какие вещества применяются в современных фотоэлементах для изготовления светочувствительной пластинки — катода?

Как уже говорилось, фотоэлектрический эффект можно наблюдать на всех металлах. Однако большинство из них — такие, как медь, железо, платина, никель, вольфрам — чувствительны только к невидимым ультрафиолетовым лучам. Эти металлы вовсе не испускают электронов под действием видимых лучей, а так как обычные источники света — солнце и электрические лампы — содержат ультрафиолетовые лучи в сравнительно небольшом количестве, то все эти металлы, очевидно, не подходят для изготовления катодов фотоэлементов. Только так называемые щелочные металлы: калий, натрий и особенно цезий, чувствительны к видимым лучам. Вот они-то и применяются на практике для изготовления катодов фотоэлементов.

Не следует думать, однако, что катод современного высокочувствительного фотоэлемента представляет собой просто пластинку или толстый массивный слой какого-либо щелочного металла. Чувствительность такого фотоэлемента к свету была бы очень невелика. Опыты показали, что если на металлический слой, скажем на слой серебра или платины, нанести плёнку щелочного металла толщиной всего в один слой атомов, то чувствительность такой плёнки значительно больше, чем чувствительность массивного слоя того же щелочного металла. Ещё больше оказывается чувствительность плёнки щелочного металла тогда, когда она нанесена не прямо на слой другого металла, а лежит на тончайшем слое какого-нибудь химического соединения этого щелочного металла, например соединения его с кислородом.

Таким образом, современные так называемые «сложные» катоды фотоэлементов состоят из трёх слоёв. Внизу лежит слой какого-нибудь металла — чаще всего это тонкая плёнка серебра, нанесённая на стекло пузырька фотоэлемента; на этот металлический слой нанесена тончайшая плёнка соединения того или иного щелочного металла с кислородом (окись металла); и уже поверх этой плёнки лежит слой чистого щелочного металла. Такое устройство имеет, например, катод широко применяемого на практике кислородно-цезиевого фотоэлемента. Здесь на серебре лежит слой окиси цезия, а поверх него — плёнка металла цезия.

Такие сложные катоды в одном существенно отличаются от катодов из чистых металлов. Чувствительность катодов из чистых металлов всё время возрастает, если их освещать лучами всё меньшей и меньшей длины волны. У сложных катодов это не так. Чувствительность их к свету особенно велика лишь в какой-нибудь одной определённой области длин волн. Она уменьшается как в сторону волн меньшей длины, так и в сторону более длинных волн.

Например, кислородно-цезиевый фотоэлемент особенно чувствителен к красным лучам, которых имеется очень много в излучении обычных источников света.

Эта способность сложных катодов «выбирать» себе особую, «излюбленную» область лучей и получила название «избирательного», «селективного», фотоэффекта.

Широкое распространение получили в последние годы и фотоэлементы с катодом из соединения сурьмы с цезием. Сильнее всего эти фотоэлементы «чувствуют» сине-зелёные лучи. Чувствительность их настолько высока, что при освещении светом одной и той же яркости они дают ток в несколько раз более сильный, чем кислородно-цезиевые фотоэлементы. Отличаются также они исключительно большим сроком службы. Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы позволяют передавать фототелеграммы, написанные цветными чернилами и карандашами — синими, красными, зелёными. Большая заслуга в разработке этих фотоэлементов принадлежит нашим учёным.

Сурьмяно-цезиевые и кислородно-цезиевые фотоэлементы — это основные типы фотоэлементов, применяемые в настоящее время в технике. Все они в больших количествах производятся на наших заводах.

2. ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ТРУБКИ

Все только что описанные способы увеличения чувствительности фотоэлементов зачастую, однако, недостаточны для практических целей. Слишком слаб ещё получаемый в фотоэлементах электрический ток. В самом деле, если, например, хороший фотоэлемент поставить на расстоянии в один метр от электрической лампочки мощностью в сто ватт, то в нём возникнет ток силой приблизительно всего лишь в одну стотысячную долю ампера. Иными словами, этот ток примерно в сто тысяч раз слабее, чем ток, идущий через нашу электрическую лампу. А во многих случаях токи, которые мы получаем от фотоэлементов, ещё в сотни тысяч и миллионы раз слабее.

Чтобы усилить эти слабые токи до нужной величины, до недавнего времени существовал только один способ. Электрический ток, возникающий в фотоэлементе, усиливают при помощи радиоламп. При этом добиваются усиления фототока в миллионы и десятки миллионов раз. К сожалению, такие устройства довольно сложны.

Но вот, около двадцати лет назад советский учёный Л. А. Кубецкий нашёл необычайно простой и остроумный способ обойти эти затруднения. Он добился усиления фототока в десятки и сотни тысяч раз без помощи радиоламп. Вот в чём заключается идея построенного Кубецким

прибора, названного им **вторично-электронной трубкой**.

Уже давно было известно, что если «бомбардировать» какое-либо тело потоком достаточно быстрых электронов, то они могут вырывать из поверхности этого тела в окружающее пространство новые, так называемые **вторичные** электроны.

Вот это явление, получившее название **вторичной электронной эмиссии** (т. е. испускания), и используется во вторично-электронных трубках. В них располагается друг за другом большое число (11—13) пластинок, покрытых веществами, дающими большую вторично-электронную эмиссию (рис. 7). Между каждой парой таких пластинок или, как их называют, **вторичных катодов** или **эмиттеров** (а также между первым эмиттером и катодом, с одной стороны, и последним эмиттером и анодом — с другой стороны) включены батареи с напряжением около 100 вольт. Благодаря этому электроны, летящие с катода на первую пластинку, с первой пластинки на вторую, со второй на третью и т. д., приобретают на пути очень большую скорость.

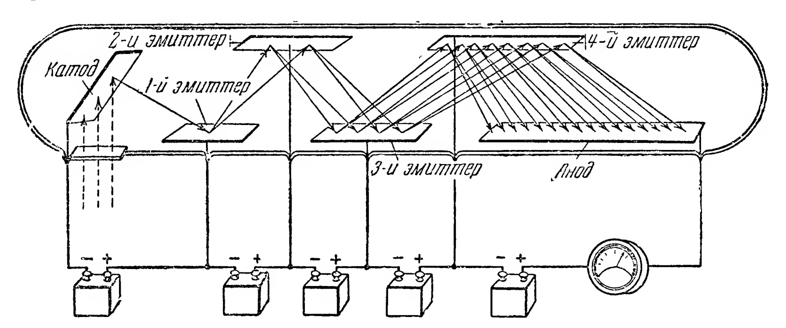


Рис. 7. Схема вторично-электронной трубки Л. А. Кубецкого.

Представьте себе, что из катода трубки Кубецкого под действием света вырвался один электрон и что, попав на первую пластинку, он благодаря приобретённой скорости выбил из неё два новых, вторичных, электрона. Но эти два электрона летят ко второй пластинке. Ударившись об неё, они выбьют из пластинки уже четыре электрона. Из третьей пластинки будет выбито 8 электронов;

из четвёртой — 16, из пятой — 32 и т. д. Легко рассчитать, что в этом случае окончательный ток — после 11 пластинок — эмиттеров — будет примерно в 2 000 раз сильнее, чем первичный ток, возникший под действием света на катод! А так как фактически добиваются, что каждый электрон выбивает из эмиттера не два электрона, а больше, то фототок удаётся усиливать не в две тысячи, а в миллионы раз!

А для того, чтобы заставить все электроны, вылетающие из катода или эмиттера, попадать на следующий эмиттер, Кубецкий поместил трубку, в которой находятся анод, катод и эмиттеры, в поле электромагнита. Магнит отклоняет движущиеся электроны и направляет их, куда нужно. А позднее были разработаны новые конструкции вторично-электронных трубок; в них можно обойтись и без магнитов.

Над усовершенствованием вторично-электронных трубок много работал советский физик профессор Тимофеев.

В настоящее время у нас имеется уже много различных типов этих замечательных приборов. Они всё шире и шире применяются на практике.

В 1948 году работы Л. А. Кубецкого были удостоены Сталинской премии.

3. ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Во всех фотоэлементах, с которыми вы познакомились, свет вырывает электроны из поверхности катода и выбрасывает их в окружающее пространство. Такой фотоэлектрический эффект, как уже было сказано, называют внешним. Но, оказывается, во многих телах электроны под действием света не вырываются в окружающее пространство, а лишь слегка смещаются внутри тела. Это явление, названное внутренним фотоэлектрическим эффектом, было обнаружено впервые ещё около 70 лет тому назад.

Было замечено, что сопротивление некоторых веществ прохождению через них электрического тока сильно уменьшается при освещении. Первоначально это наблюдалось на элементе селене. В обычных условиях селен проводит электрический ток очень плохо. Его электриче-

ское сопротивление примерно в 70 миллиардов раз больше, чем сопротивление хорошего проводника, например меди. Если включить в цепь батареи пластинку селена, как показано на рисунке 8, то, пока свет не действует на селен, ток в цепи очень слаб, так как сопротивление селена велико. Но стоит лишь осветить селеновую пластинку, как сопротивление её резко уменьшается; ток в цепи при том же напряжении батареи сильно возрастает. Чем сильнее будет действующий на селеновую пластинку свет, тем меньше будет сопротивление селена и тем сильнее ток в цепи.

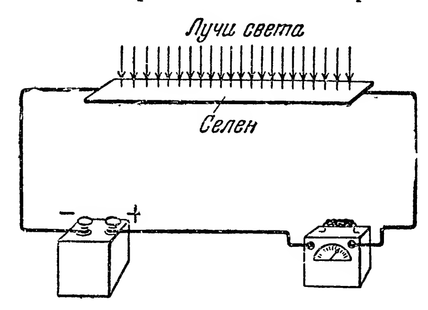


Рис. 8. Схема фотосопротивления.

Такое изменение сопротивления вещества под влиянием освещения и объясняется внутренним фотоэффектом. На рисунке 8 вы видите, по сути дела, прибор, в котором, так же как в описанных выше фотоэлементах, сила тока регулируется силой падающего на прибор света. Такого рода приборы получили название фотосопротивлений.

Кроме селеновых фотосопротивлений, в последнее время появились фотосопротивления и с другими светочувствительными веществами. Однако практически все эти приборы менее удобны, чем фотоэлементы, и применяются они поэтому сравнительно редко.

Зато имеются другие фотоэлементы, основанные также на внутреннем фотоэлектрическом эффекте.

Уже сравнительно давно было известно, что если на медной пластинке вырастить (путём нагревания на воздухе до высокой температуры) слой полупроводника электричества (вещества, очень плохо проводящего электрический ток) — закиси меди — соединения меди с кислородом, то такая пластинка будет обладать поразительным свойством: она будет пропускать электрический ток в одну сторону и не пропускать его в другую! А позднее стало известно, что таким же свойством обладают и многие другие металлы, на которые нанесён слой

полупроводника, например железные пластинки, покрытые слоем селена, и другие.

Во всех этих случаях **на границе** между металлом и полупроводником возникает особый, так называемый «запирающий» или «вентильный» слой, через который электроны могут свободно проходить только в одну сторону, а именно — **от металла к полупроводнику**. В обратном же направлении — от полупроводника к металлу — электроны через этот слой проходить не могут.

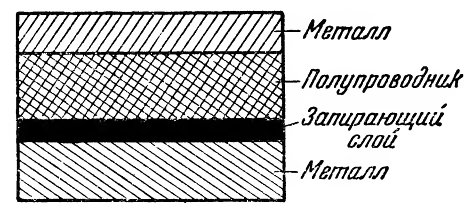


Рис. 9. Схематический разрез медной пластинки с «запирающим» слоем.

Схематический разрез такой пластинки с односторонней проводимостью изображён на рисунке 9. Следует иметь в виду, что масштабы на этом рисунке совершенно не соответствуют действительности; толщина запирающего слоя на самом деле очень мала — менее одной стотысячной доли сантиметра; слой полупроводника в действительности также очень

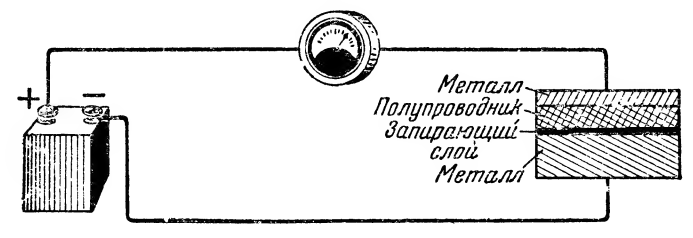


Рис. 10. В этом случае тока в цепи нет; «запирающий» слой не пропускает электроны.

тонок. Верхняя металлическая пластинка, наложенная на слой полупроводника, служит для того, чтобы было удобно включить пластинку в электрическую цепь.

Если такую пластинку подключить к батарее так, как показано на рисунке 10, то ток через неё не пойдёт, потому что электроны, движущиеся в цепи, должны в этом случае проходить через запирающий слой в направлении **от полупроводника к металлу**. А в этом

направлении слой для электронов «непроницаем». Напротив, если переключить провода, т. е. соединить нижнюю металлическую пластинку с отрицательным полюсом батареи, а верхнюю — с положительным полюсом (рис. 11), то в цепи пойдёт довольно сильный ток. Теперь электроны проходят через слой в направлении металл — полупроводник; в этом направлении запирающий слой «прозрачен» для электронов (напомним ещё раз, что за направление тока в цепи принято считать то направление, в котором двигались бы положительные заряды, т. е.

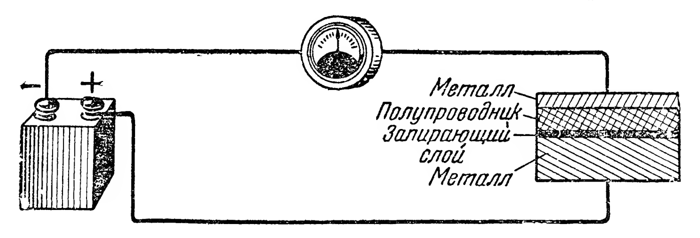


Рис. 11. В этом случае в цепи идёт ток, «запирающий» слой пропускает электроны.

направление от положительного полюса батареи к отрицательному полюсу, хотя фактически ток в металлах представляет собой движение отрицательных частиц — электронов; оно происходит в обратном направлении).

Способность такого рода сложных пластинок проводить ток только в одном направлении и «запирать» его в противоположном уже давно используется в технике для превращения переменного тока в постоянный.

Но вот лет двадцать тому назад было обнаружено ещё одно, новое и поразительное, свойство таких пластинок. Оказалось, что если соединить эту пластинку с прибором для измерения тока и осветить её так, чтобы лучи света действовали на её «запирающий» слой, то в цепи возникнет электрический ток, хотя в ней и нет никакого источника тока! Таким образом, эта пластинка представляет собой фотоэлемент, в котором опять-таки за счёт световой энергии создаётся электрический ток; он тем сильнее, чем сильнее освещён фотоэлемент.

Такого рода фотоэлементы получили название вентильных фотоэлементов (вентильным фотоэлемент называется потому, что он пропускает ток лишь в одном

направлении) или фотоэлементов с запирающим слоем. Обычно направление тока в них противоположно тому направлению, в котором через пластинку мог бы проходить ток от внешнего источника (рис. 12).

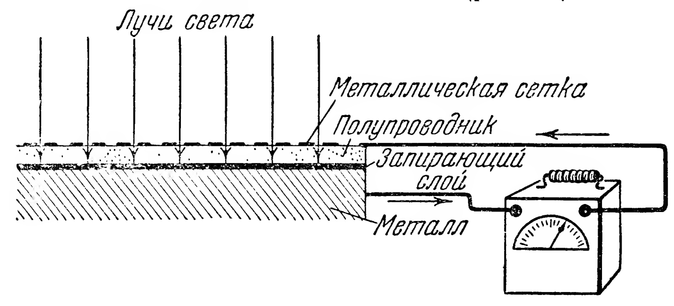


Рис. 12. Схема устройства вентильного фотоэлемента.

Устройство вентильного фотоэлемента, как можно видеть из этого рисунка, очень простое. На толстую металлическую пластинку наносят тончайший прозрачный слой полупроводника, а сверху, для контакта, накладывают металлическую сетку или покрывают полупроводник тонкой металлической плёнкой. Ясно, что слой полупроводника и верхний слой металла должны быть достаточно тонки — для того, чтобы свет мог проникать сквозь них к запирающему слою.

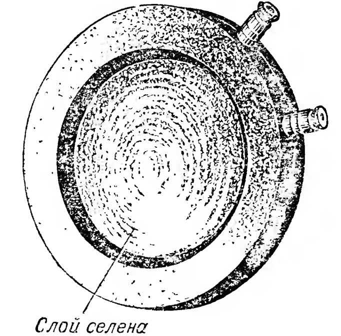


Рис. 13. Внешний вид вентильного фотоэлемента.

Первыми фотоэлементами с запирающим слоем были так называемые купроксные фотоэлементы. Они представляют собой слой закиси меди на медной пластинке («купрум» значит «медь»). Такие фотоэлементы чувствительны к видимым лучам и к близким к ним по длине волны тепловым — инфракрасным лучам.

Очень скоро получили широкое распространение и селеновые вентильные фотоэлементы (рис. 13). Чувствительность их к лучам разного цвета очень велика.

А вообще чувствительность вентильных фотоэлементов — купроксных и селеновых — к белому свету примерно такова же, как у лучших фотоэлементов с внешним фотоэлектрическим эффектом.

Выяснение сущности явлений, происходящих в вентильных фотоэлементах, — в основном заслуга советских физиков. Над этим вопросом работали физики школы академика А. Ф. Иоффе в Ленинграде и группа физиков Украинской академии наук в Киеве. В результате этих работ советские учёные перед Отечественной войной создали совершенно новые вентильные фотоэлементы — серно-серебряные и серно-таллиевые. Чувствительность этих приборов при освещении белым светом в десятки раз превосходит чувствительность всех ранее известных фотоэлементов!

Вентильные фотоэлементы, конечно, гораздо удобнее в обращении, чем фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Они не требуют никаких батарей или иных источников тока.

Однако есть у них и свои недостатки. Например, такие фотоэлементы очень трудно сочетать с ламповыми усилителями. Усиливать слабые фотоэлектрические токи, возникающие в них при освещении, практически невозможно. Поэтому вентильные фотоэлементы следует применять только там, где имеется относительно сильный источник света (они применяются, например, в сенситометре — приборе, с помощью которого определяется яркость освещения, а следовательно, и время выдержки, при фотографировании). В этом случае фотоэлектрический ток нет надобности усиливать.

Там же, где слабый первичный фототок необходимо усиливать, лучше пользоваться фотоэлементами с внешним фотоэффектом или вторично-электронными трубками.

Таковы различные типы фотоэлементов. Эти замечательные приборы выпускаются в настоящее время на специальных заводах в массовых количествах.

По плану послевоенной сталинской пятилетки в Советском Союзе изготовлено много сотен тысяч различных фотоэлементов. Они пошли на наши фабрики и заводы, в научно-исследовательские институты, в кинотеатры, в учреждения связи.

Фотоэлемент — верный, порой незаменимый помощник человека. Недаром его называют «электрическим глазом».

Где и как помогают человеку эти необыкновенные глаза — об этом рассказывается в следующей главе.

III. «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЛАЗА» РАБОТАЮТ

1. «ГОВОРЯЩАЯ» КИНОЛЕНТА

Из всех необычайно разнообразных применений фотоэлементов в современной технике наиболее массовым является применение их в звуковом кино.

Ни один звуковой киноаппарат не может работать без фотоэлемента. А между тем, в нашей стране работают

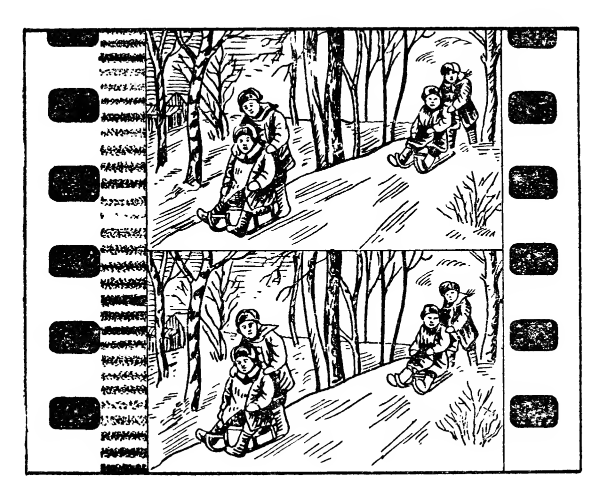


Рис. 14. Отрезок киноленты; слева видна звуковая дорожка.

десятки тысяч киноустановок. Таким образом, десятки тысяч фотоэлементов изо дня в день служат самому массовому и самому важному виду искусства — кино.

Тридцать лет назад многим казалось, что «озвучить» кино — дело безнадёжное. Не одна попытка получить хороший звук в кино окончилась неудачей. Но вот, в кино были применены «электрические глаза», и «Великий немой» заговорил громко, отчётливо, ясно.

Каким же образом работают в кино фотоэлементы?

Посмотрите на рисунки 14 и 15. Оба рисунка изображают отрезок звуковой киноленты. На ней вы видите снимки двух отдельных кинокадров (сцен). Слева от этих кадров идёт так называемая «звуковая дорожка». Она состоит из ряда поперечных чёрточек. На рисунке 14 эти чёрточки одной длины, но разной прозрачности. На рисунке 15, наоборот, все чёрточки

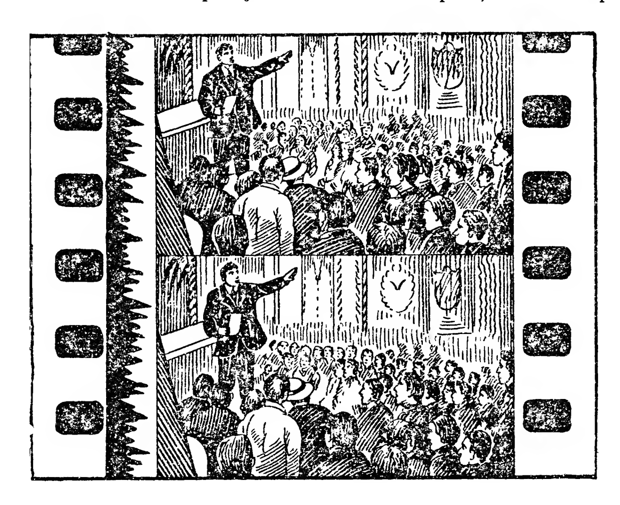


Рис. 15. Отрезок киноленты; здесь звук записан другим способом.

чёрные, непрозрачные, но имеют разную длину. Вот на таких звуковых дорожках и записаны все звуки фильма — слова, шум улицы, музыка, пение.

Оба способа записи звука на киноплёнку разработаны нашими советскими учёными П. Г. Тагером, А. Ф. Шориным и В. Д. Охотниковым.

Мы не будем в нашей книжке говорить о том, как именно записываются звуки на киноплёнку. Об этом подробно рассказано в другой брошюре серии «Научно-популярная библиотека»: В. Д. Охотников «В мире застывших звуков». Да и фотоэлемент в процессе записи звука на киноплёнку никакого участия не принимает.

Зато при воспроизведении звука с киноплёнки фотоэлемент совершенно необходим.

Посмотрите на рисунок 16 и вы легко поймёте, каким образом в кино, при демонстрации кинофильма, воспроизводится с помощью фотоэлемента звук.

Постоянный по силе свет от лампы собирается увеличительным стеклом-линзой в узкий пучок, который ярко освещает небольшую щель. Эта щель с помощью других линз отображается в сильно уменьшенном виде на звуковой дорожке киноленты. Лента скользит по барабану, в котором против освещённого места имеется отверстие.

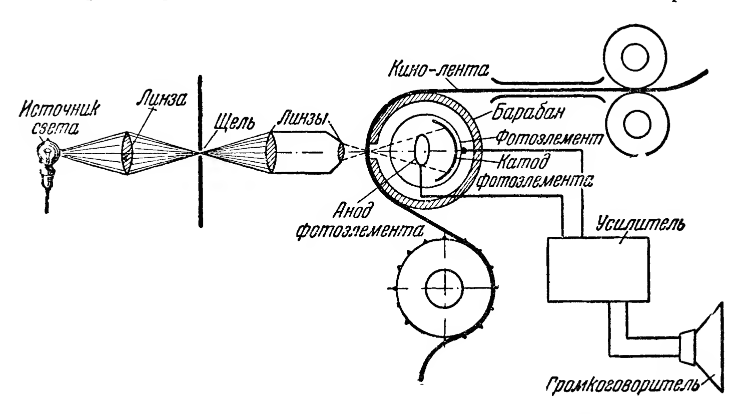


Рис. 16. Схема воспроизведения звука в кино.

Таким образом, луч света проходит через щель, через звуковую дорожку на киноленте и через отверстие — внутрь барабана. Здесь световой пучок падает на фотоэлемент.

На звуковую дорожку попадает пучок света постоянной силы, но пучок, прошедший через ленту и действующий на фотоэлемент, уже не будет постоянным. Напротив, в разные моменты времени сила света его будет больше или меньше, в зависимости от того, прошёл ли он через более светлое или более тёмное место дорожки. Точно так же, если запись звука на дорожке сделана в виде ряда чёрточек одинакового почернения, но разной длины, то сила светового пучка будет больше, если он прошёл через короткую чёрточку, и меньше, если на его пути стояла длинная чёрточка. Таким образом, колебания силы светового пучка, действующего на фотоэлемент,

соответствуют колебаниям силы света того пучка, который действовал на плёнку при записи звука. А ток, возникший в фотоэлементе, как вы знаете, соответствует силе этого светового пучка. Поэтому, по мере прохождения ленты по барабану, ток в цепи фотоэлемента будет всё время меняться.

Этот переменный ток усиливается и подаётся в громкоговоритель, устанавливаемый за экраном или рядом с ним. Здесь ток проходит через проволочные катушки, надетые на ножки магнита. Перед магнитом находится упругая металлическая пластинка — м е м б р а н а. Магнит становится то сильнее, то слабее в зависимости от силы приходящего от фотоэлемента тока. Он то притягивает к себе мембрану, то опускает её и даёт ей возможность, под влиянием её собственной упругости, выпрямиться, отойти от магнита. Иными словами — мембрана начинает к о л е б а т ь с я. А колебания мембраны создают в воздухе так называемые з в у к о в ы е в о л н ы, которые мы и воспринимаем, как звуки *).

Так фотоэлементы работают в звуковом кино.

Конечно, на самом деле звуковые киноустановки не так просты, как это может показаться по рисунку. В практике воспроизведения звука приходится преодолевать множество различных затруднений, и современные технические установки звукового кино очень сложны.

2. СНИМОК ПЕРЕДАН ПО ПРОВОЛОКЕ

Во многих городах нашей родины — в Москве, Ленинграде, Киеве, Свердловске и других — на телеграфе вы можете послать в другой город «фототелеграмму».

Что это за телеграмма?

Вы можете принести сюда собственноручно написанный документ, чертёж, рисунок, фотокарточку, и они будут переданы по телеграфу в другой город. Через несколько минут там будет получена точная фотографическая копия с данного документа или рисунка.

В настоящее время ф о т о т е л е г р а ф о м широко пользуются.

---

*) О природе звука см. брошюру «Научно-популярной библиотеки» — Б. Н. Суслов «Звук и слух».

Очень часто можно встретить фотоснимки, переданные по фототелеграфу, в газетах. Сделанный, например, где-нибудь на Урале снимок в тот же день появляется в наших центральных газетах. Внизу под снимком обычно указывается: «снимок передан по фототелеграфу».

На первый взгляд возможность передавать изображение по проволоке кажется невероятной. Однако секрет фототелеграфии, как вы увидите, совсем нетрудно понять. Он основан на той же способности фотоэлемента превращать световой сигнал в сигнал электрический.

Представьте себе, что вы в тёмной комнате осматриваете с карманным фонариком какую-нибудь большую картину. Электрический фонарик освещает только небольшую часть картины, и вы, чтобы разглядеть её всю, последовательно переводите луч фонарика с одного участка картины на другой, пока не обойдёте всю картину.

Примерно так же поступают и при передаче изображений по телеграфу. Принятый для передачи чертёж, документ или снимок укрепляют на барабане, который медленно вращается и в то же время смещается вдоль своей оси, наподобие гайки, которую вы наворачиваете на винт. На этот барабан направляют тонкий пучок световых лучей, который освещает на чертеже или снимке очень маленькое пятнышко — размером всего примерно $0,2 \times 0,2$ квадратных миллиметра. Понятно, что при движении барабана эта светящаяся точка будет перемещаться по бумаге, описывая на ней винтовую линию, которая покрывает всю поверхность передаваемого чертежа или документа. Таким образом, световой луч, подобно лучу нашего карманного фонарика, «прощупывает» здесь один за другим все участки чертежа.

Свет, отражённый от поверхности бумаги, попадает на фотоэлемент. Ясно, что количество света, действующего на фотоэлемент, будет зависеть от того, на какое место изображения попал прощупывающий его луч. Когда луч идёт по белой бумаге, то на фотоэлемент попадает значительно больше отражённого света, чем в тот момент, когда луч падает на чёрное место чертежа или рисунка. Но, как мы знаем, электрический ток в цепи фотоэлемента будет тем сильнее, чем ярче свет, действующий на фотоэлемент. Поэтому в те моменты, когда

«прощупывающий» луч проходит через светлые места передаваемого изображения, электрический ток в цепи фотоэлемента сильнее, чем тогда, когда луч попадает на более тёмные места.

Всякое изображение представляет собой совокупность светлых и тёмных точек, расположенных рядом друг с другом. Как мы видим, наше передающее устройство превращает эти точки в ряд более сильных и более слабых электрических сигналов, следующих один после другого. Эти сигналы мы можем передать по проводам или с помощью радиоволн на любое расстояние — в то место, где находится приёмная станция.

Здесь перед нами возникает обратная задача. Нужно сигналы разной силы, следующие друг за другом, превратить в изображение, т. е. в совокупность более светлых и более тёмных точек, расположенных в определённом порядке рядом друг с другом. Для этого прежде всего необходимо электрические сигналы, т. е. токи различной силы, превратить в сигналы световые — в более сильные или более слабые вспышки света.

Как это можно сделать?

Для этого переменный электрический ток, пройдя усилитель, пропускается через особый прибор, так называемый модулятор света. Этот прибор помещается на пути пучка лучей постоянной яркости. В зависимости от силы электрического тока, проходящего через модулятор, меняется прозрачность этого прибора. Благодаря этому и пучок света, проходящий через модулятор, становится переменным по яркости — он будет то ярче, то слабее — в зависимости от силы протекающего через модулятор электрического тока.

Чтобы теперь превратить эту совокупность различных по яркости световых сигналов в изображение, «мигающий» пучок света направляют на фотографическую бумагу, укреплённую на таком же барабане, как и барабан передающей станции.

Этот барабан также вращается и одновременно подвигается вдоль своей оси. Благодаря этому луч света, падающий на бумагу, вычерчивает на ней винтовую линию. Такой линией постепенно покрывается вся

поверхность фотобумаги. Но так как яркость падающего луча постоянно меняется, то на бумаге, после её проявления, вместо линии возникает ряд светлых и тёмных точек, которые в точности соответствуют таким же точкам на оригинале.

Таким образом, для того чтобы на приёмной станции мы получили точную копию этого оригинала, нужно только позаботиться о том, чтобы движение обоих барабанов — передающего и принимающего — происходило строго согласованно. Это осуществляется особыми, так называемыми «синхронизирующими» устройствами.

Так с помощью «электрического глаза» производится передача на расстояние неподвижных изображений.

Однако, как ни хорош фототелеграф, всё же он пригоден лишь для передачи неподвижных, «мёртвых» изображений: фотографий, чертежей, рукописей и т. п. А нельзя ли подобным же путём осуществить и передачу «живых», движущихся изображений? Нельзя ли передавать на большие расстояния непосредственное изображение говорящего оратора или играющего актёра, не прибегая к предварительному фотографированию этого актёра или оратора?

Можно. Такая передача «живых» изображений на далёкое расстояние называется т е л е в и д е н и е м.

Принцип телевидения — тот же, что и фототелеграфии. Изображение передаваемого объекта нужно разложить на очень большое количество светлых и тёмных точек, т. е. превратить его в ряд последовательных световых сигналов разной силы. Эти световые сигналы фотоэлемент превращает в сигналы электрические, которые можно с помощью радиоволн или по проводам передать в нужное место. Там электрические сигналы превращаются в световые, а из последних «собирается» изображение.

Понятно, однако, что технически задача телевидения гораздо сложнее, чем задача фототелеграфии. Живые люди — это не фотография, которую можно положить на вращающийся барабан фототелеграфа. Нужно найти какие-то иные способы «прощупывания» лучом всей изображаемой сцены. Кроме того, весь этот процесс «прощупывания» нужно совершать очень быстро. Чтобы

можно было передавать изображения движущихся предметов, нужно, чтобы световой луч пробежал по всему изображению за очень малое время — не больше чем за $^1/_{24}$ долю секунды. И за это короткое время луч должен «разложить» изображение на много тысяч отдельных точек-сигналов *).

Тем не менее со всеми этими трудностями советская техника успешно справилась. Сейчас наши станции регулярно ведут телевизионные передачи, а наша промышленность выпускает телевизоры — приборы, дающие возможность непосредственно видеть на экране живые сцены: отрывки пьес, выступающих актёров и т. п.

Если кино когда-то называли «Великим немым», то радио до недавнего времени можно было назвать «Великим слепым». Теперь же фотоэлемент дал возможность заговорить «Великому немому» и прозреть «Великому слепому». С помощью этого прибора мы теперь слышим в кино и видим по радио.

3. «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЛАЗ» ВИДИТ В ТЕМНОТЕ

Глаз человека воспринимает, как свет, только излучение с длинами волн, лежащими от $\frac{4}{100\,000}$ до $\frac{8}{100\,000}$ сантиметра. Все остальные волны — и более длинные и более короткие — ощущения света не создают. К ним наш глаз не чувствителен, и поэтому, как бы сильно мы ни «осветили» тело этими лучами, оно останется тёмным, невидимым. Однако, как говорилось, некоторые типы фотоэлементов «чувствуют» не только видимые лучи, но и невидимые, например инфракрасные лучи.

Возникает заманчивая мысль: а нельзя ли с помощью таких фотоэлементов построить прибор, который даст возможность видеть предметы, освещённые только инфракрасными лучами, т. е. невидимые нашими глазами? Понятно, какое важное значение имели бы такие приборы, прежде всего в военной технике. Прожекторы,

---

*) О передаче «живых» изображений на расстояние см. брошюру в серии «Научно-популярная библиотека» — К. А. Гладков, «Дальновидение».

которыми пользуются ночью для наблюдения за противником, имеют один очень серьёзный недостаток: они демаскируют того, кто ими пользуется, выдают противнику его присутствие. Насколько было бы удобнее, если бы мы могли в невидимых лучах наблюдать все предметы так же, как в видимых!

Закрыть прожектор таким стеклом, которое совсем не пропускало бы видимых лучей, но хорошо пропускало бы лучи инфракрасные, нетрудно. Такие стёкла имеются, да и инфракрасных лучей в свете прожектора имеется очень много. Но как превратить невидимое изображение пред-

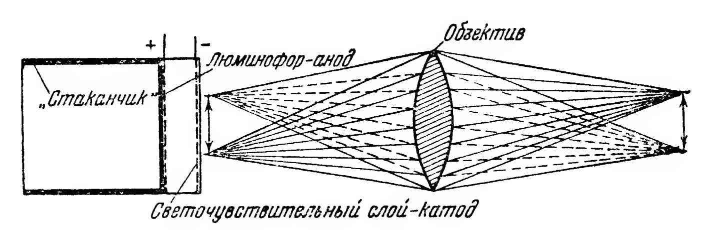


Рис. 17. Упрощённая схема прибора, с помощью которого можно видеть в темноте.

мета, освещённое этими лучами, в изображение, которое мы могли бы видеть глазами?

Рисунок 17 изображает в очень упрощённом, схематическом виде замечательный прибор, который решает задачу и даёт возможность «видеть в темноте». Вы видите, что этот прибор представляет собой просто «стаканчик» с двумя плоскими донышками. Воздух из пространства между донышками откачан. На внутреннюю сторону нижнего, наружного, донышка нанесён тонкий слой вещества, «чувствующего» только инфракрасные лучи. Это — катод нашего прибора — фотоэлемента: из него под действием инфракрасных лучей вырываются электроны.

На внутреннюю сторону второго донышка нанесён слой особого вещества — люминофора, который обладает способностью светиться ярким зелёным светом, когда на него падают электроны, летящие с большой скоростью. Этот слой играет роль анода нашего фотоэлемента: он воспринимает электроны, вырванные из катода.

Как и всегда, светочувствительный слой — катод — соединяют с отрицательным полюсом батареи, а анод — с её положительным полюсом. Однако в отличие от обычных фотоэлементов, в которых напряжение между катодом и анодом составляет несколько десятков или две-три сотни вольт, здесь применяют напряжение в несколько тысяч или даже десятков тысяч вольт, так что электроны летят к аноду с огромными скоростями.

Перед «стаканчиком» помещают объектив, подобный объективу обычного фотоаппарата или бинокля. Этот объектив создаёт на светочувствительной поверхности наружного донышка изображение тех предметов, которые мы рассматриваем. Но так как мы осветили наш предмет только невидимыми, инфракрасными лучами, то понятно, что изображение это на катоде тоже невидимое — невооружённым глазом мы его не видим. Однако оно существует, и количество электронов, вырываемых из того или иного места катода, будет тем больше, чем сильнее освещено инфракрасными лучами это место. В «светлых» (по отношению к инфракрасным лучам) местах изображения поток электронов, летящих к аноду, будет обильнее, чем в местах «тёмных». Попадая на слой люминофора, эти электроны вызывают его свечение, которое, естественно, будет тем сильнее, чем больше электронов попадёт в данное место слоя.

Таким образом, те места люминофорного слоя, которые находятся против сильно освещённых инфракрасными лучами мест катода, будут светиться сильно, а те места, которые находятся против более «тёмных» мест изображения, будут светиться слабее. Иными словами, невидимое изображение, создаваемое на переднем донышке прибора инфракрасными лучами, превращается в видимое изображение на его заднем донышке!

Такие приборы найдут себе широкое применение не только в военной технике, но и в мирной жизни.

Почему в «ночных биноклях» используются инфракрасные лучи? Нельзя ли использовать и другие невидимые лучи, скажем ультрафиолетовые?

Можно. Можно устроить прибор, с помощью которого вы будете видеть и в ультрафиолетовых лучах. Однако такой «бинокль» будет много хуже — вы уви-

дите хорошо через него только те предметы, которые находятся лишь на близком расстоянии от вас; более далёкие предметы видны не будут. Объясняется это тем, что ультрафиолетовые лучи в сильной степени поглощаются воздухом, а особенно пылью и туманом. Наоборот, для инфракрасных лучей пыль и туман прозрачны.

4. СВЕТОВОЙ ТЕЛЕФОН И «ГОВОРЯЩИЕ» БУКВЫ

Уже много веков назад человек использовал свет для передачи различных сведений на расстояние. Так, запорожцы яркими кострами предупреждали жителей окружающих селений о нашествии врагов. Позднее строились высокие башни, с которых передавались на далёкие расстояния условные световые сигналы; при этом различные сигналы обозначали различные слова и фразы. Таким путём можно было вести несложный разговор. Было много и других попыток использования света для целей телефонии. Но совершенный световой телефон был сконструирован только после изобретения «электрических глаз». Вот каким образом устроен световой телефон.

Вы говорите перед микрофоном на передающей станции. Микрофон соединён с источником постоянного тока. Благодаря колебаниям мембраны микрофона в нём возникает пульсирующий ток. Колебания тока в точности соответствуют звуковым колебаниям. Этот ток усиливается и поступает в дуговую лампу. Возникающий в лампе свет переменной яркости отражается вогнутым зеркалом и прямолинейным пучком направляется на приёмную станцию. Колебания силы света соответствуют колебаниям звуковой волны.

На приёмной станции свет принимается также на вогнутое зеркало (его форма совпадает с особой кривой — параболой), отражается этим зеркалом и падает на фотоэлемент. Фотоэлемент соединён с электрической батареей и телефоном. Благодаря падающему свету переменной силы в фотоэлементе возникает пульсирующий ток. Этот ток воздействует на мембрану телефона, и человек слышит слова, произносимые вами на передающей станции.

Так осуществляется разговор с помощью света на большое расстояние.

Ещё более интересно применение фотоэлементов в «читающих» машинах для слепых. Эта машина устроена таким образом, что при «чтении» книги буквы «говорят» — каждая буква издаёт свой особый звук!

Каким образом это делается?

Из машины на строку открытой книги направляются четыре тонких световых пучка. Они ведутся вдоль строчки так, что покрывают как раз все буквы по высоте. Отражённый от книги свет падает на фотоэлемент. Возникающие токи усиливаются и подводятся к телефону. Так как каждый из четырёх пучков света, проходя различные буквы, встречает на своём пути чёрные участки букв не в одно и то же время с другими пучками, то ясно, что при прохождении разных букв в телефоне будут слышны различные по тону и продолжительности звуки (помните, что свет по-разному отражается от чёрных и белых участков книги).

По характеру звуков слепой и узнаёт отдельные буквы.

«Читающей» машиной можно «читать» обыкновенный книжный шрифт!

Первые совершенные типы таких машин были созданы русскими изобретателями Тюриным и Б. Розингом ещё в начале XX века.

Позднее, в Институте экспериментальной медицины в Харькове, в 1929—1933 годах проф. И. А. Соколянский разработал ещё более интересную конструкцию «читающей» машины для слепоглухонемых; в ней буквы читаемой книги воспринимаются читателем на ощупь. Основной частью этой машины является также «электрический глаз».

5. ФОТОРЕЛЕ

Замечательную картину можно наблюдать в некоторых цехах наших передовых заводов. В них можно видеть длинную линию — «цепочку» сложнейших станков, которые «сами» производят обработку тех или иных изделий. В нужный момент станок включается, производит определённую операцию, меняет инструмент,

снова работает, останавливается, передаёт изделие на следующий станок, а сам берётся за новое изделие и т. д. А люди? Людей почти не видно. Они наладили эту цепь «умных машин» — автоматов и лишь следят за их работой.

Каким образом работают подобные машины-автоматы?

Всякий автомат в нужный момент получает от какого-нибудь «чувствующего» устройства сигнал и по этому сигналу включает тот или иной «исполнительный» орган. В большинстве случаев и сигнал и средство исполнения являются электрическими.

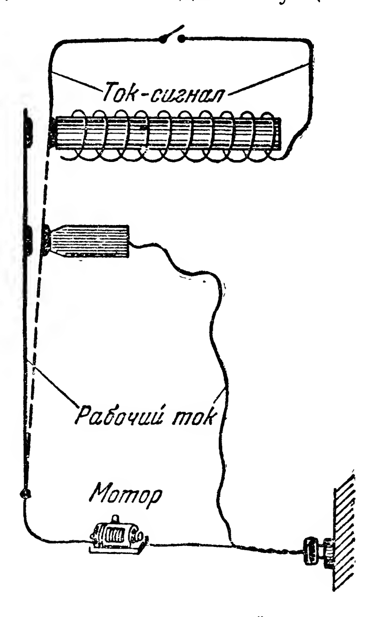


Рис. 18. Схема устройства электромагнитного реле.

Вот один из простых примеров. Работает токарный станок-самоход: когда суппорт с резцом доходит до определённого места, он нажимает кнопку и тем самым замыкает ток, даёт «сигнал». По этому сигналу автоматически, без участия человека, останавливается один мотор или пускается в ход другой и т. п. Обычно электрический ток такого «сигнала» очень слаб, а «исполнительный» ток может быть уже очень сильным.

Приспособления или устройства, которые, получив слабые токи «сигнала», включают или выключают мощные «исполнительные» токи, называются р е л е.

Реле являются важнейшей составной частью всякого автоматического станка или машины. На рисунке 18 изображена схема устройства одного из наиболее простых типов реле. Слабый ток-сигнал проходит по обмотке электромагнита, при этом якорь притягивается к магниту и замыкает цепь рабочего тока — начинает работать мотор.

В примере со станком-автоматом, который мы приводили, суппорт станка замыкает цепь сигнала чисто

механически, нажимом кнопки. Но очень часто оказывается более удобным, чтобы ток-сигнал, приводящий в действие ту или иную машину, создавался при помощи фотоэлемента, на который в нужный момент начинает действовать свет. Такие устройства получили название фотореле*). Фотореле состоит из фотоэлемента, радиолампового усилителя и устройства, включающего или выключающего тот или иной механизм. Такие реле могут быть включены двояким образом: они могут включать «исполнительный» ток либо тогда, когда возникает фотоэлектрический ток, либо тогда, когда этот ток исчезает. Иными словами, реле будет, как говорят, «срабатывать» либо при попадании света на фотоэлемент, либо при прекращении освещения фотоэлемента.

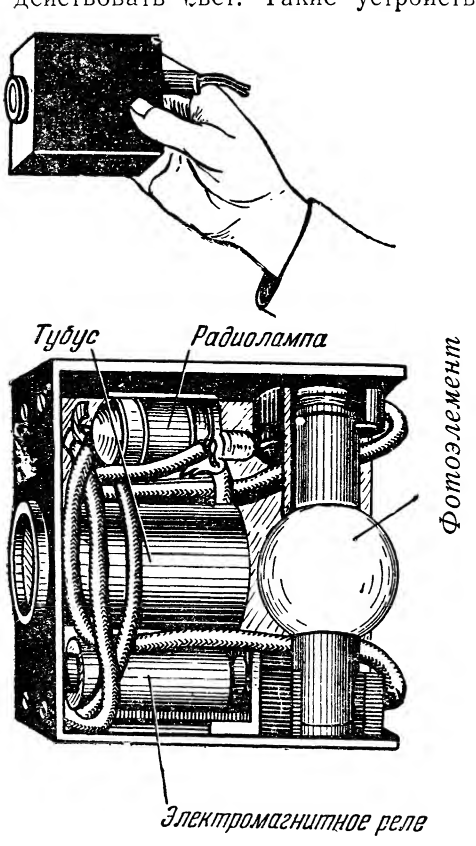


Рис. 19. Общий вид самодельного фотореле СФ-4 конструкции инженера Клементьева.

Фотореле могут работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Советскими учёными за последние годы создано несколько типов совершенных высокочувствительных фотореле.

*) Подробнее о фотореле, его устройстве и применении см. брошюру в серии «Научно-популярная библиотека» — С. Д. Клементьев «Зоркий помощник».

Изобретателем С. Клементьевым разработаны конструкции несложных самодельных фотореле очень небольших размеров; они особенно удобны для использования в различных автоматических устройствах.

Один из типов таких самодельных реле показан на рисунке 19. Свет через тубус прибора падает на фотоэлемент. Возникающий фототок, усиленный радиолампой, поступает в электромагнитное реле, действующее, как было показано на рисунке 18, и замыкает или размыкает, таким образом, цепь сильного исполнительного тока.

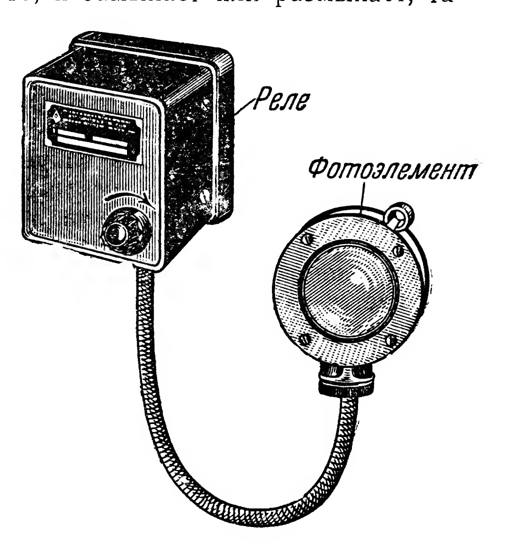


Рис. 20. Внешний вид прибора, следящего за включением и выключением уличного освещения.

Необычайно разнообразны применения фотореле. Мы приведём лишь несколько самых простых примеров.

В каждом крупном городе очень большое значение имеет своевременное включение и выключение уличного освещения.

Каждая лишняя минута горения тысяч уличных ламп означает бесцельную трату огромного количества электрической энергии. Но, с другой стороны, слишком позднее включение уличного освещения затрудняет движение на улицах и может привести к катастрофам.

В настоящее время построены приборы, автоматически регулирующие включение и выключение уличных фонарей. На рисунке 20 вы видите фотоэлемент, соединённый с реле, включающим уличное освещение. Когда сила дневного света на улице падает ниже определённого предела, ток в фотоэлементе становится настолько слабым, что устройство включает электрические лампы уличных

фонарей. Утром, когда сила дневного света становится достаточной для нормальной видимости на улицах, сила тока в «электрическом глазе» снова возрастает, и фонарь выключается.

Фотореле могут также с успехом включать и выключать свет маяков и бакенов. Советскими инженерами Щекиным и Синицыным такой автоматический электробакен был, например, сделан для канала имени Москвы.

Широкое применение могут найти и уже находят такие приборы и на различных предприятиях. Вместо зажигания света «на-глазок» гораздо экономнее иметь прибор, который включает свет в тот момент, когда это необходимо для данного производства.

Такого же рода установка может применяться для предупреждения пожаров в закрытых тёмных помещениях. Здесь фотореле даёт тревожный звонок при появлении в помещении огня или дыма.

Очень широко используется в автоматике принцип так называемой «световой преграды». Она осуществляется как на видимых, так и на невидимых лучах. Устраивают это так. Направляют на фотоэлемент пучок света от какого-нибудь фонаря и соединяют этот «электрический глаз» с реле. Реле устроено так, что оно «срабатывает», т. е. включает тот или иной механизм, в тот момент, когда какое-нибудь постороннее тело пересекает пучок света.

На обложке нашей книжки вы видите построенную на этом принципе установку для автоматического открывания и закрывания дверей. Автомобиль подходит к дверям гаража. Как только он пересекает первый, наружный, луч света, включается в работу электромоторчик, и двери открываются. Входя внутрь гаража, машина пересекает вторую световую преграду, и двери закрываются.

«Электрический швейцар» действует точно и безотказно.

На горных дорогах, где имеются туннели, нередко бывает так, что идущая с большим грузом автомашина не может свободно пройти через туннель — высота груза вплотную достигает или даже превышает размеры туннеля. В таких случаях часто происходят аварии с машинами. «Электрический глаз» может легко это предупредить. Перед входом в туннель — в его верхней части —

устанавливается источник света — так, чтобы луч шёл в воздухе параллельно дороге — навстречу подъезжающим к туннелю автомашинам. Если груз на машине не превышает высоты туннеля, луч света не падает на этот груз, и машина может спокойно проезжать через туннель. Но как только перед туннелем оказывается автомашина с очень высоким грузом, луч света уже падает на груз, отражается от него и, отражённый, падает на фотоэлемент, укреплённый рядом с источником света. Перед входом в туннель загорается красная предупредительная надпись: «проезд закрыт», или подаётся резкий сигнал тревоги.

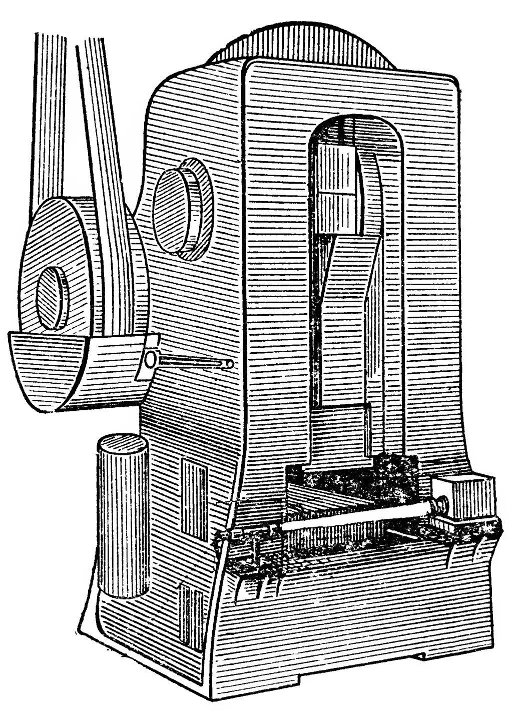


Рис. 21. Пресс тормозится, как только луч света пересекается каким-либо непрозрачным телом.

Можно устроить световую преграду и на невидимых лучах, например на ультрафиолетовых или инфракрасных лучах. Преимущество такой преграды заключается в том, что она невидима. Подобные установки с успехом могут использоваться для охраны различных помещений и территорий.

А вот вам более важный пример.

Ещё до Отечественной войны у нас производились подобные предохранительные устройства к быстроходным прессам. На рисунке 21 вы видите такой пресс. Слева установлен осветитель, луч которого попадает на фотореле. Пока свет действует на фотоэлемент, пресс может

работать. Но если световой луч пересечён каким-либо непрозрачным телом, например, если рабочий не успел во-время убрать руку, ток в фотоэлементе прекращается, приходит в действие реле, и тут же включается тормоз. Пресс опуститься не может. Таким путём предотвращаются несчастные случаи от нечаянного и преждевременного пуска пресса в ход или от «повторного удара» пресса.

Предохранительные устройства с фотореле могут устанавливаться у самых различных машин: у вальцов, ножниц, штампов и т. п.

На железнодорожном транспорте «световая преграда» может быть использована для самых различных операций: для остановки поездов, для автоматической сигнализации при разрыве железнодорожных составов в пути, для сигнализации на железнодорожных переездах, для контроля за скоростью движения поездов и т. д.

Вот как, например, может быть устроен фотоэлектронный семафор, останавливающий поезд. На столбе семафора устанавливается небольшой прожектор, бросающий луч света на проходящие составы. При этом свет падает на установленный в определённом месте на паровозе фотоэлемент. В последнем возникает фотоэлектронный ток, который, пройдя через усилители, автоматически включает тормоза состава. Таким образом, если только лампа прожектора зажжена, мимо него поезд пройти не сможет, независимо от того, заметил машинист такой своеобразный «закрытый семафор» или нет.

Особенно ценной такая установка может быть в том случае, если прожектор фотоэлектронного семафора будет посылать не видимые лучи, а невидимые — инфракрасные. Соответственно этому и фотоэлемент, установленный на паровозе, должен реагировать только на эти невидимые лучи. В этом случае фотоэлектронный семафор будет прекрасно действовать при любой погоде, например при густом тумане, так как инфракрасные лучи хорошо проходят сквозь туман.

Лабораторией горной электротехники Донецкого индустриального института был сконструирован «автоматический стрелочник», работающий при помощи фотореле. Такой «стрелочник» с успехом может заменить человека в шахте. Приближаясь к стрелке, машинист электровоза,

не останавливая состава, поднимает руку и на мгновение пересекает тот или другой световой луч фотореле. Стрелка переводится на нужный путь.

Подобного рода устройства применяются и для автоматического счёта различных предметов, например, для счёта изделий, движущихся по конвейеру. Каждый раз, как какое-либо непрозрачное тело пересекает этот пучок, сила тока в фотоэлементе резко падает. Нетрудно устроить приспособление, которое при таком падении силы тока будет автоматически поворачивать колесо счётчика на одно деление, то-есть считать проходящие предметы.

Такого рода устройства способны считать безошибочно с очень большой скоростью — например, тысячу и больше деталей в минуту!

Легко могут быть использованы фотореле и для сортировки различных деталей по их цвету или форме. В этом случае конструируют такую установку, в которой на фотоэлемент падает свет, отражаемый деталью, движущейся по определённому пути. В зависимости от яркости этого света фотореле включает механизм, направляющий изделие в ту или иную сторону.

Фотоэлементы способны браковать различные изделия с точностью, на которую не способен человек. Так, они могут замечать на деталях самые малейшие трещины, которые не может заметить человеческий глаз.

Крайне ценную службу контроля могут нести фотоэлементы при изготовлении различных красок.

«Электрические глаза» чувствительны ко всем тончайшим оттенкам цветов. Установлено, что фотоэлементы различают не менее одного миллиона оттенков!

Широко могут использоваться в промышленности установки с фотореле для автоматического контроля уровня различных жидкостей и сыпучих тел. Принцип работы таких установок очень прост. Представьте себе, что с одной стороны какого-либо чана или закрытого бака, на его верхней части, установлен осветитель, а напротив — фотореле. Пока бак пуст, луч света падает на фотореле и благодаря этому горит сигнальная лампочка. Однако стоит только заполнить бак выше того уровня, на котором установлен осветитель фотореле, как тотчас же сработает фотореле и сигнальная лампочка погаснет.

Вместо контрольной лампочки может быть установлен электрический звонок. Можно сделать также, что вместо световой или звуковой сигнализации автоматически начинают работать насосы или конвейеры, подающие в тот или иной резервуар жидкость или сыпучее тело.

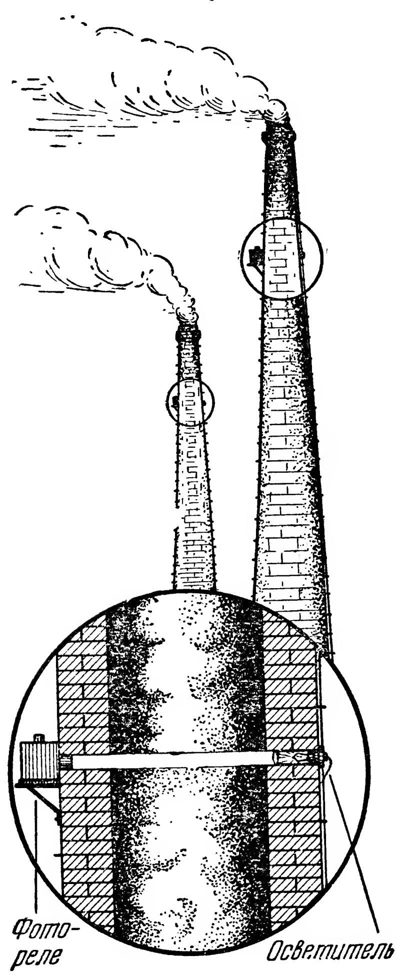


Рис. 22. Фотоэлектронная установка регулирует ход горения в топке.

Такие установки могут применяться на самых различных производствах — при загрузках зерном, мукой, нефтью, углем.

Примеров использования фотоэлементов можно привести очень много. Так, фотоэлементы приносят огромную пользу и при автоматическом контроле и при управлении ходом сложных химических и технологических процессов.

Приведём только один такой пример. Хорошо известно, сколько внимания требуется от кочегара или машиниста, например, на пароходе или в заводской котельной, чтобы правильно регулировать ход горения топлива в топке, вовремя усиливать или ослаблять подачу горючего и воздуха. Фотоэлемент даёт возможность осуществлять такой контроль автоматически. Поперёк дымовой трубы направляют пучок света, падающий на фотоэлемент, соединённый с реле (рис. 22). Всякое изменение густоты и цвета дыма будет изменять его

прозрачность и, следовательно, будет изменять силу тока в фотоэлементе. Можно отрегулировать прибор так, что при всяком отклонении густоты и цвета дыма от нормы в ту или иную сторону будут автоматически включаться приспособления, регулирующие ход горения в топке.

Подобный «кочегар-автомат» даёт возможность сэкономить многие тысячи тонн топлива.

Таким же или сходным образом можно автоматически регулировать течение и других химических процессов.

Не менее многообразны возможности применения фотореле и в военном деле. И здесь «электрические глаза» способны делать необыкновенные вещи. Вот несколько примеров.

В печати отмечалось, что в годы второй мировой войны на многих кораблях фотоэлементы успешно выступали в роли... разведчиков. Для этого применялись высокочувствительные фотоэлементы, воспринимающие лишь тепловые, т. е. инфракрасные лучи. Такие приборы в любую погоду — в тумане, ночью — «улавливали» на далёких расстояниях тепловое излучение, идущее от нагретых дымовых труб вражеских кораблей, и таким образом давали возможность своевременно определять присутствие противника.

Военными специалистами ряда стран выдвигались предложения устройства фотоэлектронных торпед. Установленный в головной части таких торпед фотоэлемент посылает торпеду, с помощью специальных рулей поворота, точно в направлении сильного пучка световых лучей. В печати отмечалось, что фотоэлектронная торпеда может быть использована в ночном бою как против различных наземных целей, так и против самолётов. Как указывалось, стоит, например, «поймать» лучом прожектора самолёт противника и тут же послать вдоль по лучу торпеду с фотоэлементом, как такая торпеда обязательно попадёт в цель. Для этого лишь необходимо не выпускать самолёт из луча прожектора. Точно так же фотоэлектронная торпеда, сброшенная с самолёта, летит на свет прожекторной установки, установленной, например, на корабле.

В обоих последних примерах фотоэлемент действительно как бы видит цель

Отмечалось также, что широкое применение в военных условиях может найти и «световая преграда» с помощью инфракрасных лучей, о которой мы говорили выше. Здесь, помимо сигнальных приспособлений, с фотоэлементами часто соединяют и различные средства поражения, например, мину, которая взрывается в тот момент, когда какое-либо тело, скажем танк или автомобиль, пересекает невидимый луч света.

Среди других многочисленных военных применений фотоэлементов небезынтересно применение фотореле в стрелковом тире.

Если в центре мишени укрепить фотоэлемент, вставленный в короткую трубку, то по такой мишени можно стрелять светом! Устройство ружья, стреляющего лучами света, несложно. В стволе такого ружья имеются небольшое вогнутое зеркальце и маленькая электрическая лампочка с точечной нитью накала; при этом свет от лампочки отражается зеркальцем так, что из ствола выходит тонкий параллельный луч света. Источником электрического тока могут служить обыкновенные сухие батарейки для карманного электрического фонаря, закреплённые где-либо в прикладе ружья.

Включение электрической лампочки на короткую долю секунды осуществляется при помощи спускового крючка «светового ружья».

Таким образом, если стрелок прицелился точно, то при «выстреле» короткий луч света падает на фотоэлемент, и фотореле срабатывает. Нетрудно устроить, чтобы при этом на мишени загоралась лампочка или, скажем, звонил звонок.

Не имея возможности умножать число примеров использования фотоэлементов в нашей жизни, скажем лишь, что они могут быть с успехом и пользой применены в любой отрасли техники. Автоматическое взвешивание, измерение скорости движения различных тел, контроль размеров и качества изделий, автоматический контроль и регулировка давления, температуры, влажности, концентрации в химической, металлургической, текстильной, пищевой, горной, металлообрабатывающей и других отраслях промышленности — всё это далеко не полный список того, что может делать замечательный физический прибор — фотоэлемент!

И, наконец, нельзя не упомянуть о применении «электрических глаз» для измерения световой энергии. Высокая чувствительность фотоэлементов и совершенство современных приборов и методов измерения слабых электрических токов позволяют быстро и точно измерять с помощью фотоэлементов даже чрезвычайно слабый свет, например свет, идущий от далёких звёзд, которые едва видит или даже совсем не видит человеческий глаз. В настоящее время в научных лабораториях работает множество оптических приборов, в которых сила света измеряется по силе электрического тока, возникающего в фотоэлементах. Эти приборы помогают учёным глубже и точнее проникать в сущность физических явлений в окружающем нас мире, а это в свою очередь является залогом и основой дальнейшего развития техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы познакомились с замечательными приборами — фотоэлементами. Эти маленькие приборы — поистине чудесные помощники человека. Они считают и бракуют, сторожат и открывают двери, включают и выключают свет, предупреждают крушения и несчастные случаи, передают изображение на расстояние и воспроизводят звук в кино.

Фотоэлемент, рождённый в конце прошлого века в лаборатории русского учёного, — одно из блестящих достижений русской и мировой науки.

Изобретение этого прибора лишний раз говорит нам о великом значении науки в развитии человеческого общества, о неразрывной связи теории и практики, о безграничных возможностях человеческого разума в познании и привлечении сил природы на службу человеку.

Бесчисленны возможности применения фотоэлементов в нашей жизни, их невозможно перечислить в маленькой книжке.

И можно смело сказать, что совсем недалеко то время, когда фотоэлемент несказанно преобразит нашу жизнь — заменит человека на многих тяжёлых и вредных работах, в десятки раз поднимет производительность труда, принесёт в квартиру каждого трудящегося человека еже-

дневную «живую», говорящую газету, явится основой к изобретению новых необыкновенных приборов, аппаратов, машин — читающих, разговаривающих, работающих!

Новые, более совершенные приборы, использующие явления фотоэффекта, — вторично-электронные трубки Кубецкого и Тимофеева дают все основания ожидать этого недалёкого будущего.

Такова будущность «электрических глаз» у нас, в социалистическом государстве. Ибо существует глубокое различие в применении фотоэлементов в Советском Союзе и в капиталистических странах.

Там, например в Америке, фотоэлементы используются в настоящее время главным образом для военных целей и для извлечения прибылей. Фотоэлементы используются лишь там, где это выгодно, где они дают капиталистам дополнительную прибыль, позволяют ещё больше эксплоатировать рабочих. Широкое внедрение этих приборов в промышленность ведёт к ещё бо́льшей безработице. Так в условиях капиталистического строя замечательное достижение человеческого ума становится проклятьем для рабочего человека.

Иными глазами смотрят на фотоэлемент Советское правительство, советские учёные и изобретатели. Они видят в этом приборе неисчерпаемые возможности к облегчению, улучшению и полной безопасности труда советских людей.

В социалистическом государстве резко отличен характер «деятельности» фотоэлементов. Здесь они выполняют большую благодарную работу — работу зоркого, внимательного помощника трудящегося человека. Именно поэтому с каждым годом замечательные физические приборы — фотоэлементы — всё больше и больше используются в советской науке и технике.

Всё шире используются фотоэлементы в нашей стране в различных предохранительных устройствах, в устройствах, облегчающих труд советских людей. Работает у нас этот прибор и под землёй. Так в угольных шахтах Донбасса фотоэлементы несут службу привратников — они открывают и закрывают в горизонтальных горных выработках плотно закрывающиеся двери при проходе электровозов с углем.

Наконец, хочется отметить ещё одно обстоятельство.

Фотоэлемент — это маленькая электрическая машина. Она превращает падающую на неё световую энергию прямо в энергию электрического тока. Нельзя ли в таком случае надеяться на то, что в будущем нам удастся получать непосредственно из солнечного света ту электрическую энергию, которая необходима для наших фабрик и заводов, для сельского хозяйства и бытовых нужд?

Лучистая энергия, непрерывным потоком изливающаяся на нашу планету от Солнца, — это главный, практически единственный источник энергии, которым пользуется и человек и всё живое на Земле. Но до сих пор мы не умеем пользоваться этой энергией непосредственно. Мы используем её косвенным путём, через ряд многочисленных превращений.

Так, когда мы сжигаем в наших топках дрова или уголь, мы используем энергию, запасённую прежде растениями из солнечных лучей. Дрова, уголь, нефть — это своего рода аккумуляторы солнечной энергии, «солнечные консервы».

Когда падающая вода приводит в движение турбины наших гидроэлектростанций, то по существу мы и здесь используем энергию солнечных лучей, ибо за счёт этих лучей вода была поднята наверх, в облака (т. е. испарилась); пролившись вниз на землю, она пополняет «запас» воды в реках.

Фотоэлементы открывают перед нами путь прямого превращения солнечной энергии в энергию электрическую!

Посмотрите на рисунок 23. На нём вы видите маленький вентильный фотоэлемент, который приводит в движение крохотный, игрушечный моторчик.

Что это? Игрушка или начало глубочайшей технической революции?

Пока — это игрушка. Мы не можем ещё всерьёз говорить о промышленном применении фотоэлементов для получения электрической энергии за счёт энергии солнечных лучей. Для этого не только слишком мал коэффициент полезного действия фотоэлементов, т. е. слишком мала доля лучистой энергии, которую фотоэлементы превращают в энергию электрическую; существует ряд других, весьма серьёзных и пока непреодолённых трудностей.

Однако на наших глазах наука сделала осуществимыми такие вещи, которые ещё так недавно казались невозможными. Почему же мы не можем и здесь думать

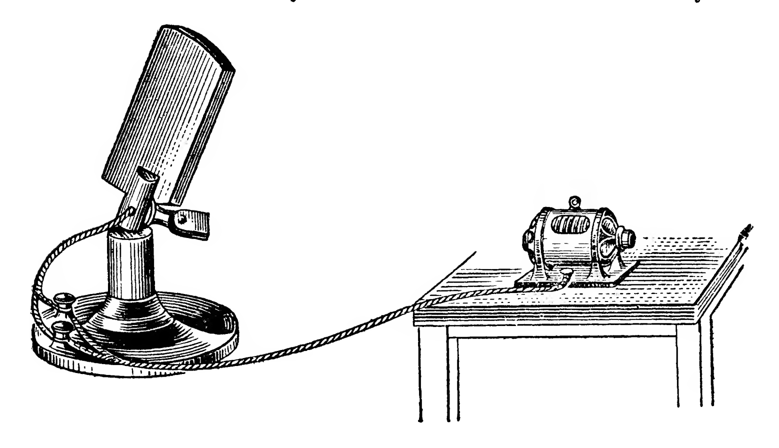
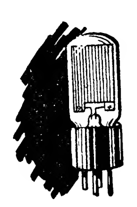


Рис. 23. Небольшой вентильный фотоэлемент приводит в движение крохотный моторчик.

о том, что невозможное сегодня станет возможным завтра? И кто знает — может быть, уже среди читающих эту книжку находится тот человек, который в недалёком будущем построит первую мощную фотоэлектрическую солнечную машину!



Цена 90 коп.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

1. Проф. М. Ф. СУББОТИН. Происхождение и возраст Земли.
2. Проф. И. Ф. ПОЛАК. Как устроена Вселенная.
3. Проф. В. Г. БОГОРОВ. Подводный мир.
4. Проф. Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ. Происхождение небесных тел.
5. Проф. А. А. МИХАЙЛОВ. Солнечные и лунные затмения.
6. Проф. В. В. ЛУНКЕВИЧ. Земля в мировом пространстве.
7. А. А. МАЛИНОВСКИЙ. Строение и жизнь человеческого тела.
8. Проф. И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ. Молния и гром.
9. Проф. Б. Л. ДЗЕРДЗЕЕВСКИЙ. Воздушный океан.
10. Проф. А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ. В мире звёзд.
11. Проф. К. Ф. ОГОРОДНИКОВ. На чём Земля держится.
12. С. М. ИЛЬЯШЕНКО. Быстрее звука.
13. Проф. В. А. ДОРФМАН. Мир живой и неживой.
14. Проф. В. В. ЕФИМОВ. Сон и сновидения.
15. Проф. Г. С. ГОРЕЛИК и М. Л. ЛЕВИН. Радиолокация.
16. В. Д. ОХОТНИКОВ. В мире застывших звуков.
17. Ю. М. КУШНИР. Окно в невидимое.
18. Проф. В. Г. БОГОРОВ. Моря и океаны.
19. В. В. ФЕДЫНСКИЙ и И. С. АСТАПОВИЧ. Малые тела Вселенной.
20. Г. Н. БЕРМАН. Счёт и число.
21. Б. Н. СУСЛОВ. Звук и слух.
22. Е. П. ЗАВАРИЦКАЯ. Вулканы.
23. Проф. А. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ. Строение вещества.
24. А. С. ФЁДОРОВ и Г. Б. ГРИГОРЬЕВ. Как кино служит человеку.
25. Проф. Р. В. КУНИЦКИЙ. День и ночь. Времена года.
26. Акад. В. А. ОБРУЧЕВ. Происхождение гор и материков.
27. Проф. Р. В. КУНИЦКИЙ. Было ли начало мира.
28. Проф. Г. П. ГОРШКОВ. Землетрясения.
29. Проф. И. Ф. ПОЛАК. Время и календарь.
30. Л. П. ЛИСОВСКИЙ и А. Е. САЛОМОНОВИЧ. Трение в природе и технике.
31. А. С. ФЁДОРОВ. Огненный воздух.
32. Проф. Б. Б. КУДРЯВЦЕВ. Движение молекул.
33. Проф. В. И. ГРОМОВ. Из прошлого Земли.
34. Э. И. АДИРОВИЧ. Электрический ток.
35. В. С. СУХОРУКИХ. Микроскоп и телескоп.
36. А. С. ДАНЦИГЕР. Электрическая лампочка.
37. Н. В. КОЛОБКОВ. Погода и ее предвидение.
38. Г. А. ЗИСМАН. Мир атома.
39. В. Д. ЗАХАРЧЕНКО. Мотор.
40. В. Д. ОХОТНИКОВ. Магниты.
41. Б. Н. СУСЛОВ. Между пылинками и молекулами.
42. Д. З. БУНИМОВИЧ. Фотография.
43. Д. А. КАТРЕНКО. Чёрное золото.
44. В. И. ГАПОНОВ. Электроны.
45. О. Г. СУВОРОВ. О чём говорит луч света.
46. Проф. Г. С. ЖДАНОВ. Рентгеновы лучи.
47. Н. В. КОЛОБКОВ. Грозы и бури.
48. К. А. ГЛАДКОВ. Дальновидение.
49. Проф. Н. С. КОМАРОВ. Искусственный холод.
50. Проф. А. М. РУБИНШТЕЙН. Химия вокруг нас.
51. С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ. Зоркий помощник.
52. Н. Г. НОВИКОВА. Необыкновенные небесные явления.
53. А. Ф. БУЯНОВ. Новые волокна.